



Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Universidad del Perú. Decana de América

Dirección General de Estudios de Posgrado
Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y
Geográfica
Unidad de Posgrado

Tratamiento por declorinación in situ de bifenilos policlorados (PCB's), para control de riesgos de salud de los trabajadores y el medio ambiente en el sector Minero del departamento de Pasco

TESIS

Para optar el Grado Académico de Magíster en Gestión Integrada
en Seguridad, Salud Ocupacional y Medio Ambiente

AUTOR

Jessica Zaida MUÑOZ HERMITAÑO

ASESOR

Dr. Vidal Sixto ARAMBURÚ ROJAS

Lima, Perú

2019



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

Referencia bibliográfica

Muñoz, J. (2019). *Tratamiento por declorinación in situ de bifenilos policlorados (PCB's), para control de riesgos de salud de los trabajadores y el medio ambiente en el sector Minero del departamento de Pasco*. Tesis para optar grado de Magíster en Gestión Integrada en Seguridad, Salud Ocupacional y Medio Ambiente. Unidad de Posgrado, Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú.

HOJA DE METADATOS COMPLEMENTARIOS

CODIGO ORCID DEL AUTOR: 0000-0003-0601-9864

CODIGO ORCID DEL ASESOR: 0000-0001-5818-8569

DNI: 41740819

GRUPO DE INVESTIGACIÓN: INDIVIDUAL

INSTITUCIÓN QUE FINANCIA PARCIAL O TOTALMENTE LA INVESTIGACIÓN: FINANCIAMIENTO PARCIAL “COMPAÑÍA MINERA ATACUCHA S.A.A”

UBICACIÓN GEOGRÁFICA DONDE SE DESARROLLÓ LA INVESTIGACIÓN. DEBE INCLUIR LOCALIDADES Y COORDENADAS GEOGRÁFICAS

LUGAR: COMPAÑÍA MINERA ATACUCHA S.A.A

DISTRITO: SAN FRANCISCO DE ASIS DE YARUSYACAN

PROVINCIA Y DEPARTAMENTO: PASCO

COORDENADAS WGS84: N 8830419 E 367158

ALTITUD: 4020

AÑO O RANGO DE AÑOS QUE LA INVESTIGACIÓN ABARCÓ:

2010 - 2016

VEREDICTO DE SUSTENTACIÓN



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS

Universidad del Perú, Decana de América

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINERA, METALÚRGICA Y GEOGRÁFICA

UNIDAD DE POSGRADO



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

SUSTENTACIÓN PÚBLICA

En la Universidad Nacional Mayor de San Marcos-Lima, a los veinte días del mes de agosto del 2019, siendo las 16:00 horas, se reúnen los suscritos miembros del JURADO EXAMINADOR DE TESIS, nombrado mediante Dictamen N.º 604/UPG-FIGMMG/2019 del 12 de agosto del 2019, con la finalidad de evaluar la sustentación oral de la siguiente tesis:

TÍTULO

«TRATAMIENTO POR DECLORINACIÓN IN SITU DE BIFENILOS POLICLORADOS (PCB's), PARA CONTROL DE RIESGOS DE SALUD DE LOS TRABAJADORES Y EL MEDIO AMBIENTE EN EL SECTOR MINERO DEL DEPARTAMENTO DE PASCO»

Que, presenta la Bach. **JESSICA ZAIDA MUÑOZ HERMITAÑO**, para optar el **GRADO ACADÉMICO DE MAGISTER EN GESTIÓN INTEGRADA EN SEGURIDAD, SALUD OCUPACIONAL Y MEDIO AMBIENTE**.

El secretario del Jurado Examinador de la Tesis, analiza el expediente N.º 03749-FIGMMG-2012 del 11 de mayo del 2012, en el marco legal y Estatutario de la Ley Universitaria, acreditando que tiene todos los documentos y cumplió con las etapas del trámite según el «Reglamento de los Estudios de Maestría y Doctorado».

Luego de la Sustentación de la Tesis, los miembros del Jurado Examinador procedieron a aplicar la escala descrita en el Art. 61 del precitado Reglamento, correspondiéndole al graduando la siguiente calificación:

..... MUY BUENO (18)

Habiendo sido aprobada la sustentación de la Tesis, el Presidente recomienda a la Facultad se le otorgue el **GRADO ACADÉMICO DE MAGISTER EN GESTIÓN INTEGRADA EN SEGURIDAD, SALUD OCUPACIONAL Y MEDIO AMBIENTE** a la Bach. **JESSICA ZAIDA MUÑOZ HERMITAÑO**.

Siendo las 17:00 horas, se dio por concluido al acto académico

MG. DANIEL FLORENCIO LOVERA DÁVILA
Presidente

MG. OSCAR JULIO NÚÑEZ VENEGAS
Secretario

MG. OSKAR MICHAEL HUAPAYA RAMÍREZ
Miembro

DR. VIDAL SIXTO ARAMBURÚ ROJAS
Asesor

DEDICATORIA

Con mucho cariño dedico este trabajo a mí apreciada familia: A mis padres MANUEL MUÑOZ y ISIDORA HERMITAÑO, quienes guiaron mis pasos para mi desarrollo profesional, a mis hermanos ROMEO, FREDDY, IRENE y BETSY, por su apoyo incondicional y a mi compañero de la vida YONATAN CHAVEZ por su inmenso amor y respeto.

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Nacional “Mayor de San Marcos”, a la Unidad de postgrado de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica, por fortalecer mi formación profesional.

A mi asesor, el Dr. Vidal Aramburu, por sus recomendaciones para el desarrollo de mi proyecto de investigación.

Al Ing. José Alcalá, por hacerme participe del proyecto del tratamiento por Decoloración de Bifenilos Policlorados en Compañía Minera Atacocha SAA.

ÍNDICE GENERAL

	Página
VEREDICTO DE SUSTENTACIÓN	II
DEDICATORIA	III
AGRADECIMIENTO	IV
ÍNDICE GENERAL.....	V
LISTA DE FIGURAS	XI
ACRÓNIMOS.....	XIII
RESUMEN.....	XIV
SUMMARY	XV
 CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	 1
1.1. Situación Problemática.....	1
1.2. Formulación del Problema.....	4
1.2.1. Problema General	4
1.2.2. Problemas Específicos.....	4
1.3. Justificación Teórica.....	5
1.4. Justificación práctica	6
1.5. Justificación Legal.....	6
1.6. Justificación Económica	7
1.7. Objetivos de la Investigación	8
1.7.1. Objetivo General.....	8
1.7.2. Objetivos Específicos	8
 CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	 9
2.1. Marco Filosófico o Epistemológico	9
2.2. Antecedentes de la Investigación	10

2.2.1.	Antecedente Nacional.....	10
2.2.2.	Antecedentes Internacionales	12
2.3.	Bases Teóricas	13
2.3.1.	Concepto de Bifenilos Policlorados (PCB´s)	13
2.3.2.	Reseña Histórica sobre la fabricación de los PCB´s.....	16
2.3.3.	Propiedades fisicoquímicas de los PCB´s	17
2.3.4.	Usos de los Bifenilos Policlorados	19
2.3.4.1	Sistemas cerrados controlados.....	19
2.3.4.2	Sistemas cerrados no controlados.....	19
2.3.4.3.	Aplicaciones que implican dispersión	20
2.3.5	Principales productos que usaron PCB´s.....	23
2.3.5.1.	Transformadores	23
2.3.5.2.	Condensadores.....	24
2.3.5.3.	Balastros	24
2.3.6.	Toxicidad de los PCB.....	25
2.3.7.	Efectos al ambiente y la salud del hombre	27
2.3.8.	Exposición ocupacional en minería por PCB´s	30
2.3.9.	Tipos de Análisis de PCB´s	30
2.3.9.1	Métodos específicos	30
2.3.9.2	Métodos no específicos	31
2.3.10.	Tecnologías más conocidas para el tratamiento de PCB´s	31
2.3.10.1	Incineración a Alta temperatura	31
2.3.10.2	Declorinación (reducción con metales alcalinos).....	32
2.3.10.3	Reducción Química en Fase Gaseosa (RQFG).....	32
2.3.11	Productos que reemplazarán los fluidos con PCB´s.....	33
2.3.11.1	Aceites Minerales	33
2.3.11.2	Fluido de Silicona.....	33
2.3.11.3	Aceites de éster sintético	34
2.3.11.4	Fluidos de origen vegetal.....	34
2.3.12	Descripción del Material Sólido después del Tratamiento.....	35

2.3.12.1	Cloruro de sodio	35
2.3.12.2	Residuos no saponificables.....	35
2.3.12.3	Hidróxido de sodio	36
2.3.12.4	Ésteres de ácidos grasos	36
2.3.12.5	Sodio saponificado	36
2.3.12.6	Asfaltos y alquitranes	36
2.4.	Marco Legal.....	37
2.4.1.	Normativas Internacionales	37
2.4.1.1	Convenio de Basilea	38
2.4.1.2	Convenio de Estocolmo.....	39
2.4.1.3	Convenio de Rotterdam	40
2.4.2.	Normativa Nacional.....	40
2.4.3	Acciones y proyecciones para estandarización en el manejo de PCB's.....	44
2.5.	Marco Conceptual.....	46
CAPÍTULO III. METODOLOGÍA		48
3.1.	Tipo y Diseño de Investigación	48
3.2	Materiales	48
3.2.1	Materiales para el Inventario de transformadores	48
3.2.2	Materiales para toma de muestras de aceite	49
3.2.3	Materiales para descarte de equipos sin PCB's	50
3.2.4	Materiales para proceso de declorinación	50
3.2.5	Materiales para proceso de regeneración.....	50
3.3	Equipos	51
3.3.1	El equipo Reactor (Equipo de declorinación).....	51
3.3.2	Separadores de sólidos o decantadores.....	52
3.3.3	Equipo filtro prensa	53
3.3.4	Equipo de secado	54
3.4	Unidad de Análisis y Población de estudio	55

3.5	Implementación del centro de operación.....	56
3.5.1	Infraestructura.....	57
3.5.2	Medidas de Seguridad	57
3.6	Traslado de Transformadores con PCB´s.....	60
3.7	Instalación de Conexión Eléctrica	61
3.8	Descripción de trabajo de investigación	61
3.8.1	Identificación de las fuentes de PCB´s	62
3.8.2	Muestreo de aceites de los transformadores	63
3.8.3	Descarte de PCB´s con el detector Clor-N-Oil 50.....	65
3.8.4	Análisis por Cromatografía de gases	67
3.8.4.1	Transformadores considerados para el tratamiento	68
3.8.4.2	Método de análisis para determinación de PCB´s en aceites dieléctricos	69
3.8.5	Descripción del tratamiento de los aceites con PCB´s	70
3.8.5.1	Proceso de declorinación de los aceites con PCB´s	70
3.8.5.2	Reacciones químicas por el proceso de declorinación	71
3.8.5.3	Detalles del Proceso de declorinación	73
3.8.5.4	Corte por incremento de temperatura del reactor	73
3.8.5.5	Válvula de escape por sobrepresión.....	74
3.8.5.6	Atmósfera inertizada por vacío	74
3.8.5.7	Sistema de filtrado y recolección total de vapores	74
3.8.5.8	Sistema de contención.....	74
3.8.6	Proceso de Regeneración de aceites	74
3.8.6.1	Descripción de las tierras filtrantes	77
3.8.6.2	Propiedades de las Tierras Fuller (Arcillas metálicas)	78
3.8.6.3	Residuos generados en el proceso	79
3.8.6.4	Balance de materia.....	80
3.9	Muestreo de aceites tratados.....	82

CAPITULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES	83
4.1. Análisis, Interpretación y discusión de resultados	84
4.1.1. Resultados y discusiones de las pruebas con el detector Clor-N-oil	84
4.1.2. Resultados y discusiones antes del proceso de declorinación	85
4.1.3. Resultados y discusiones después del tratamiento de aceites con PCB's.....	86
4.2. Pruebas de Hipótesis.....	88
4.2.1. Hipótesis General	88
4.2.2. Hipótesis específicas.....	93
CONCLUSIONES	99
RECOMENDACIONES	100
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	101
ANEXOS	108
ANEXO 01: FICHA DE IDENTIFICACIÓN PARA TRANSFORMADORES.....	108
ANEXO 02: INSTRUCTIVO PARA TOMA DE MUESTRAS DE ACEITES	109
ANEXO 03: INSTRUCCIÓN PARA EL USO DEL KIT CLOR-N-OIL.....	111
ANEXO 04: RESULTADO DE ENSAYO DE MUESTRAS INICIALES	112
ANEXO 05: RESULTADO FINAL DEL TRATAMIENTO	113
ANEXO 06: ETIQUETA PARA EQUIPOS Y RESIDUOS CON PCB'S	114
ANEXO 07: ETIQUETA PARA EQUIPOS CON TRATAMIENTO CON PCB'S	114
ANEXO 08: LINEAMIENTOS PARA EL PLAN DE GESTIÓN DE LOS PCB'S	115
ANEXO 09: MATRIZ DE CONSISTENCIA	124

LISTA DE TABLAS

<i>Tabla 1.</i> Nombres Comerciales de los PCB's	15
<i>Tabla 2.</i> Características fisicoquímicas más importantes de los PCB's	18
<i>Tabla 3.</i> Resumen de varios usos según los Arocloros	21
<i>Tabla 4.</i> Sectores y aplicaciones que usaron PCB's	22
<i>Tabla 5.</i> Lista de Transformadores identificados para el proyecto	62
<i>Tabla 6.</i> Transformadores para el análisis por cromatografía de gases.	67
<i>Tabla 7.</i> Relación de transformadores con PCB's	68
<i>Tabla 8.</i> Límite permisible de PCB's en aceites dieléctricos.....	70
<i>Tabla 9.</i> Propiedades de las Tierras Fuller.....	78
<i>Tabla 10.</i> Ingreso de materias primas y salida de residuos del tratamiento.....	79
<i>Tabla 11.</i> Balance de Masa de todo el tratamiento	80
<i>Tabla 12.</i> Relación de transformadores muestreados para el proyecto.....	85
<i>Tabla 13.</i> Resultado del análisis por cromatografía de muestras con PCB's	86
<i>Tabla 14.</i> Porcentaje de eficacia del tratamiento por dechlorinación	87
<i>Tabla 15.</i> Comparación de resultados del antes y después del tratamiento	87
<i>Tabla 16.</i> Comparación de datos en el SPSS	90
<i>Tabla 17.</i> Prueba de Normalidad por Shapiro Wilk.....	90
<i>Tabla 18.</i> Prueba de Normalidad	91
<i>Tabla 19.</i> Medias del antes y después del tratamiento con la prueba T-Student	92
<i>Tabla 20.</i> Significancia de la Hipótesis General con la prueba "T" en el SPSS.....	92
<i>Tabla 21.</i> Contingencia de Parámetros de color y color de las muestras.....	94
<i>Tabla 22.</i> Resultado de la prueba del Chi-cuadrado	94
<i>Tabla 23.</i> Resultado de Correlaciones de la Cromatografía de Gases	96
<i>Tabla 24.</i> Tabla de contingencia de Decisión de tratamiento y el año de fabricación.....	98
<i>Tabla 25.</i> Prueba el Chi-cuadrado de Pearson	98
<i>Tabla 26.</i> Modelo de IPER Continuo.....	119
<i>Tabla 27.</i> Modelo de formato de IAAS	120
<i>Tabla 28.</i> Modelo de cronograma de trabajo	122

LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 1.</i> Cantidad de aceites con PCB's por sector en el Perú	3
<i>Figura 2.</i> Reacción de eliminación de PCB's con sodio metálico	6
<i>Figura 3.</i> Formula General de los PCB's.	13
<i>Figura 4.</i> Estructura Molecular de los PCB's.....	14
<i>Figura 5.</i> Línea de tiempo de fabricación y restricción de los PCB's.	16
<i>Figura 6.</i> Partes del Transformador.	23
<i>Figura 7.</i> Partes del Condensador.	24
<i>Figura 8.</i> Partes del Balastro.....	25
<i>Figura 9.</i> Proceso de Absorción y expulsión de PCB's en seres vivos.	26
<i>Figura 10.</i> Bioacumulación de PCB's.	28
<i>Figura 11.</i> Cloracné por envenenamiento con organoclorados.....	29
<i>Figura 12.</i> Modelo de placa del transformador.	49
<i>Figura 13.</i> Materiales para toma de muestras.	49
<i>Figura 14.</i> Kit Colorimétrico Clor-N-Oil 50.....	50
<i>Figura 15.</i> Equipo Reactor.	52
<i>Figura 16.</i> Separador de sólidos.....	53
<i>Figura 17.</i> Equipo Filtro Prensa.	54
<i>Figura 18.</i> Equipo de Secado.....	54
<i>Figura 19.</i> Ubicación Geográfica del Departamento de Pasco.	55
<i>Figura 20.</i> Infraestructura para el Proyecto.....	57
<i>Figura 21.</i> Instalación de extintores y botiquín.....	58
<i>Figura 22.</i> Instalación de detectores de Humo	58
<i>Figura 23.</i> Centro de Operaciones del tratamiento de PCB's	59
<i>Figura 24.</i> Plano en planta del centro de operaciones.....	60
<i>Figura 25.</i> Vista de los transformadores para su tratamiento	60
<i>Figura 26.</i> Flujograma de la Investigación.	61
<i>Figura 27.</i> Identificación de datos de la placa.....	63
<i>Figura 28.</i> Ubicación de la válvula inferior para en muestreo	64
<i>Figura 29.</i> Muestreo de aceites en interior mina.	65

<i>Figura 30.</i> Proceso de descarte realizado para el proyecto.....	65
<i>Figura 31.</i> Muestra libre de PCB's.....	66
<i>Figura 32.</i> Muestra con presencia de PCB's mayor a 50 ppm	66
<i>Figura 33.</i> Proceso de declorinación de los PCB's.....	71
<i>Figura 34.</i> Reacción química de Wurtz.	72
<i>Figura 35.</i> Reacción de eliminación y sustitución del halógeno	73
<i>Figura 36.</i> Botón de parada manual del reactor.....	73
<i>Figura 37.</i> Proceso de declorinación y regeneración del proyecto.	75
<i>Figura 38.</i> Proceso por declorinación y regeneración de los PCB's.	76
<i>Figura 39.</i> Proceso de rellenado de aceite a los transformadores.....	77
<i>Figura 40.</i> Lugar de mezcla del aceite y la tierra filtrante.....	78
<i>Figura 41.</i> Transformadores descontaminados del proyecto.	83
<i>Figura 42.</i> Toma de muestra después de los 90 días del tratamiento	83
<i>Figura 43.</i> Ficha de Identificación para transformadores	108
<i>Figura 44.</i> Registro de datos de la placa.	109
<i>Figura 45.</i> Limpieza de válvulas de salida	109
<i>Figura 46.</i> Fluído de aceite por 3 segundos.....	110
<i>Figura 47.</i> Toma de muestra de aceite	110
<i>Figura 48.</i> Cierre seguro de la válvula	110
<i>Figura 49.</i> Rotulación de muestras	110
<i>Figura 50.</i> Instructivo para el uso del kit Clor-N-Oil	111
<i>Figura 51.</i> Resultado de ensayo de muestras iniciales.....	112
<i>Figura 52.</i> Resultado final del tratamiento	113
<i>Figura 53.</i> Etiqueta para equipos con PCB's.....	114
<i>Figura 54.</i> Etiqueta para equipos descontaminados de PCB's.....	114

ACRÓNIMOS

COP:	Contaminantes Orgánicos Persistentes
DHHS:	Departamento de Salud y Servicios Humanos
DIGESA:	Dirección General de Salud Ambiental
ECA:	Estándares de Calidad Ambiental
EPA:	Agencia de Protección Ambiental (siglas en inglés Environmental Protection Agency)
EPP:	Equipos de Protección Personal
EORS:	Empresa Operadoras de Residuos Sólidos
GAR:	Gestión Ambientalmente Racional
INACAL:	Instituto Nacional de Calidad
IARC:	Agencia Internacional de Riesgo de Cáncer (siglas en inglés International Agency for Research on Cancer)
LMP:	Límite Máximo Permisible
MINAM:	Ministerio del Ambiente – Perú
MINEM:	Ministerio de Energía y Minas - Perú
ONU:	Organización de las Naciones Unidas
PCB:	Bifenilos Policlorados
PGPCB:	Plan de Gestión de PCB
PPM:	Partes por millón

RESUMEN

El estudio describe el manejo y la aplicación del tratamiento por declorinación de bifenilos policlorados, más conocidos por sus siglas en inglés “*polychlorinated biphenyls*” (PCB’s), detectados en los aceites dieléctricos de los transformadores de tensión antiguos del lugar de estudio. El manejo inicia en la identificación y toma de muestras de las fuentes, considerándose 42 transformadores para el proyecto, luego se realizó la prueba de descarte, haciendo uso de los detectores de PCB’s, conocidos como kits colorimétricos Clor-N-Oil 50, resultando 13 equipos como positivos, estos equipos se volvieron a muestrear y enviar estas muestras a un laboratorio acreditado, para su análisis por cromatografía de gases, para obtener resultados exactos de PCB’s; resultando 9 transformadores con presencia de PCB’s superior a 50 ppm, a los cuales se aplicó el tratamiento por declorinación, mediante la función de un reactor de 1500 litros, donde se genera la “reacción química de Wurtz”, entre el aceite dieléctrico y el sodio metálico aportado para la reacción, generándose reacciones eliminación y sustitución del halógeno cloro, presente en el aceite y convirtiéndose en cloruro de sodio, sales completamente inerte y no posee propiedades nocivas para la salud de las personas y ambiente, resultando el tratamiento eficientemente, demostrando la reducción de los PCB’s de 97% a 99% de la concentración inicial.

Palabras clave: Bifenilos Policlorados (PCB’s), Tratamiento por Declorinación

SUMMARY

The study describes the management and application of the treatment by dechlorination of polychlorinated biphenyls (PCB's), detected in the dielectric oils of the old voltage transformers of the place of study. The management begins in the identification and sampling of the sources, considering 42 transformers for the project, then the discard test was carried out, making use of PCB detectors, known as Clor-N-Oil 50 colorimetric kits, resulting in 13 teams as positive, these teams were re-sampled and sent these samples to an accredited laboratory, for analysis by gas chromatography, to obtain exact results of PCB's; resulting in 9 transformers with presence of PCB's higher than 50 ppm, to which the treatment by dechlorination was applied, by means of the function of a 1500-liter reactor, where the "Wurtz chemical reaction" is generated, between dielectric oil and sodium metallic metal for the reaction, generating reactions elimination and substitution of halogen chlorine, present in the oil and becoming sodium chloride, completely inert salts and does not possess harmful properties for the health of people and environment, resulting in efficient treatment, demonstrating the reduction of PCB's from 97% to 99% of the initial concentration.

Keywords: Polychlorinated Biphenyls (PCBs), Dechlorination Treatment.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. Situación Problemática

General Electric (GE)¹ patentó el uso de los PCB's como fluido eléctrico y Monsanto Company², los producía bajo las especificaciones dirigidas por GE y otras compañías manufactureras de equipos eléctricos. Los usos más extendidos fueron en la industria de equipamiento eléctrico, transformadores y condensadores, la cual adoptó a los PCB's como aceites dieléctricos, refrigerantes no inflamables para su nueva generación de transformadores. (Soto Amezcua, 2005)

Debido a sus propiedades fisicoquímicas, los PCB's fueron fabricados comercialmente hasta el año 1979, cuando se aprobó el estatuto para control de Sustancias Tóxicas (TSCA)³, en los Estados Unidos; prohibiendo su producción debido a su extrema persistencia en el ambiente, su capacidad de bioacumulación y sus efectos adversos a la salud humana". (Salud Pública de México, 2013)

¹ **General Electric Company**, también conocida como **GE**, es una corporación conglomerada multinacional de infraestructura, servicios financieros y medios de comunicación altamente diversificada con origen estadounidense.

² **Monsanto Company**; es una empresa transnacional estadounidense cotizada en bolsa productora de agroquímicos y biotecnología destinados a la agricultura. La sede de la corporación se encuentra en Creve Coeur, San Luis, en el estado de Missouri. Monsanto producía en un principio aditivos alimentarios como la sacarina y la vainillina; en la década de 1920 ya producía numerosos productos químicos industriales como ácido sulfúrico y PCB.

³ La Ley de Control de Sustancias Tóxicas; es una ley de los Estados Unidos, aprobada por el Congreso de los Estados Unidos en 1976 y administrada por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos, que regula la introducción de productos químicos nuevos o ya existentes.

El sector laboral involucra a los trabajadores, al riesgo de exposición a PCB's, pudiendo generarse graves problemas de salud; ya que estudios realizados en laboratorio con ratas alimentadas por mucho tiempo con comida y bifenilos comerciales, registraron tumores malignos en el hígado. Mediante estas evidencias de cáncer en animales, debido a los estudios registrados, el Departamento de Salud y Servicios Humanos (DHHS)⁴, la Agencia de Protección Ambiental (EPA)⁵ y la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC)⁶, determinaron que los PCB's son carcinogénicos para los humanos clasificándose en el grupo 2A "*Probablemente carcinógeno*", existe pruebas que estos agentes pueden causar cáncer a los humanos, pero aún no son concluyentes. (Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades, 2016)

Los PCB's no fueron fabricados en el Perú, pero si fueron importados para ser utilizados en distintos sectores. Siendo el sector Minero uno de los principales sectores que usó los aceites dieléctricos con PCB's en los equipos eléctricos, como son los transformadores de tensión, por esta razón teniendo la necesidad de identificar las fuentes que pueden contener PCB's en el Perú, se registró el Inventario Nacional de Bifenilos Policlorados realizado el año 2006, para atender al "Plan Nacional de Implementación del Convenio de Estocolmo sobre los Contaminantes Orgánicos Persistentes en el Perú", identificándose 16 equipos con contenido de aceites contaminados con PCB's en el sector Minero, teniendo en cantidad total de 30 636 Kilogramos de PCB's (ver Figura 1), y todos estos ubicados en el Departamento de Pasco. (Consejo Nacional del Ambiente [CONAM], la Dirección General de Salud Ambiental [DIGESA] y el Servicio Nacional de Sanidad Agraria [SENASA], 2006)

⁴ El Departamento de Salud y Servicios Sociales de los Estados Unidos (DHHS, United States Department of Health and Human Services), es un Gabinete del gobierno de los Estados Unidos con el objetivo de proteger la salud de todos los estadounidenses y la prestación de servicios sociales esenciales. Su lema es "Mejorar la salud, la seguridad y el bienestar de América".

⁵ La Agencia de Protección del Medio Ambiente (en inglés, *Environmental Protection Agency*; más conocida por las siglas EPA) es una agencia del gobierno federal de Estados Unidos encargada de proteger la salud humana y proteger el medio ambiente: aire, agua y suelo.

⁶ International Agency for Research on Cancer (IARC, por sus siglas en inglés), es un órgano intergubernamental que forma parte de la Organización Mundial de la Salud de las Naciones Unidas. Su misión es dirigir y coordinar las investigaciones sobre las causas del cáncer. También se encarga de los estudios epidemiológicos sobre la incidencia de esta enfermedad a nivel mundial.

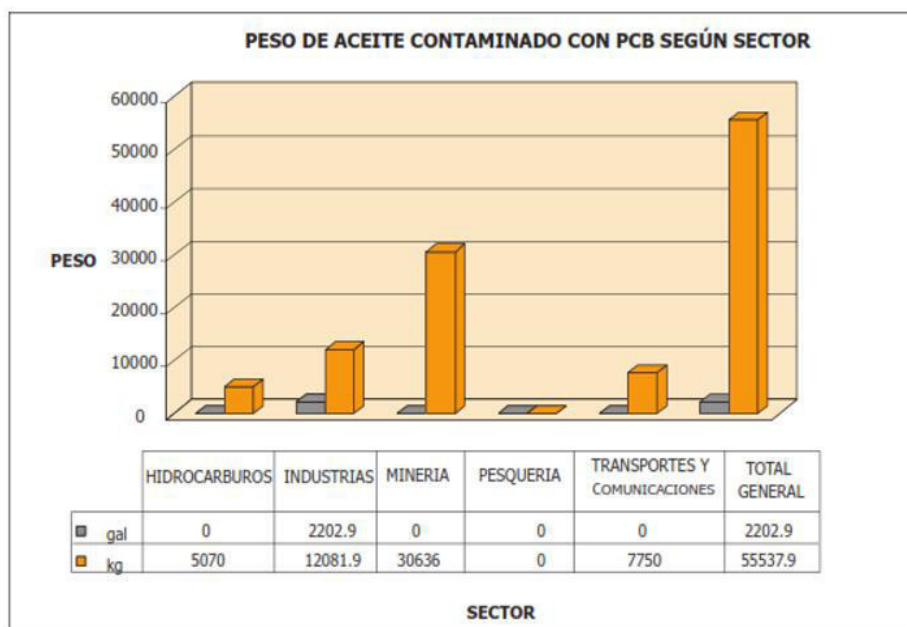


Figura 1. Cantidad de aceites con PCB's por sector en el Perú
Fuente. DIGESA, CONAM Y SENASA (2006).

Diversas empresas mineras del Perú, aquellas con más de 40 años de antigüedad, tienen la probabilidad de que aún todavía mantienen transformadores de tensión con contenido de aceites dieléctrico con bifenilos policlorados, ya sea equipos operativos o inoperativos, por lo cual las actividades de intervención, para su revisión y mantenimiento a estos equipos por parte de los trabajadores que realizan esta acción, tiene una importancia protagónica, ya que estas personas corren el riesgo de contacto directo con los aceites dieléctricos, el contacto se podría generar ya sea por vía respiratoria, por ingesta o por el tacto y mayormente se debe al desconocimiento del manejo de los PCB's, los cuales podrían afectar su salud de las personas a un corto o largo plazo, los PCB's también son un riesgo para el ambiente, que podrían ocasionarse por la liberación voluntaria o involuntaria a los medios receptores (agua, suelo y aire). (Ritter, Solomon & Forget, 1995)

1.2. Formulación del Problema

1.2.1. Problema General

¿De qué manera el tratamiento por dechlorinación, para aceites dieléctricos con contenido mayor a 50 ppm de PCB's, intervendrá en la prevención de riesgos de salud de los trabajadores y al medio ambiente?

1.2.2. Problemas Específicos

Problema específico 1

¿Cómo se podría determinar de manera previa, la concentración de PCB's mayor a 50 ppm, en los aceites dieléctricos y poder descartar aquellos transformadores con aceites dieléctricos sin PCB's?

Problema específico 2

¿Cómo se podría obtener los resultados exactos y cuánticos, de la concentración de PCB's en los aceites dieléctricos de los transformadores, para verificar los resultados positivos obtenidos con los detectores de PCB's Clor-N-Oil 50?

Problema específico 3

¿Existe relación entre aquellos transformadores con concentración de PCB's y el año de su fabricación antes del año 1979?

1.3. Justificación Teórica

(Pfafflin & Ziegler, 2006) afirma: “Que es importante aplicar el tratamiento y disposición adecuada de los PCB’s, esto debido a su toxicidad y su persistencia en el ambiente, para la protección de la salud de las personas y el medio ambiente. Considerándose la aplicación de uno los distintos métodos existentes para su descontaminación de los PCB’s”.

El tratamiento por declorinación, es uno de los tratamientos para la eliminación de los PCB’s, se basa en la teoría de “Charles Wurtz” de estudios realizados en el siglo XIX. Donde desarrollo la llamada Reacción de Wurtz y su posterior modificación de Wurtz – Fitting, en las cuales, bajo condiciones específicas de reacción, los hidrocarburos alifáticos y aromáticos son declorinados mediante el uso de metales alcalinos. En la figura 2, se muestra la reacción de Wurtz, donde el sodio metálico alcalino interviene en la reacción, R1 y R2 son 2 grupos radicales orgánicos o átomos de hidrógeno que se unen a la estructura del bifenilo después de la reacción. (Kioshi, s.f.).

La reacción en la declorinación, puede establecerse sobre la base de la generalidad de la reacción esquemática. Al tratarse de una mezcla de congéneres e isómeros presentes en el fluido, existen distintas velocidades de reacción, como así también mecanismos de sustitución nucleófila que en unos casos corresponden a reacciones unimoleculares SN1⁷ y en otros casos bimoleculares SN2⁸. (Kioshi, s.f.)

Existe una diversidad de variantes que dan lugar a la reacción general de la declorinación, obteniendo también algunos subproductos que interfieren en la velocidad de reacción y generándose también reacciones secundarias. Asimismo, se producen dos reacciones importantes: La condensación de moléculas cloradas (o de PCB) y la deshalogenación y sustitución de los átomos de cloro por hidrógeno o radicales orgánicos. (Kioshi, s.f.).

⁷ SN1: La sustitución nucleófila es unimolecular, ello quiere decir que la velocidad de reacción sólo depende de la concentración del sustrato, y es independiente de la concentración del nucleófilo.

⁸ SN2: La sustitución nucleófila es bimolecular, es decir que la velocidad de la reacción depende de la concentración del sustrato y de la concentración del nucleófilo.

La deshalogenación selectiva, se produce en primera instancia con los átomos de cloro más “fácilmente” atacables y luego sigue con los más difíciles siendo esta la reacción que predomina (ver Figura 2). Es importante resaltar que las moléculas de PCB's más cloradas tienden a reaccionar antes que las moléculas menos cloradas. (Kioshi, s.f.).

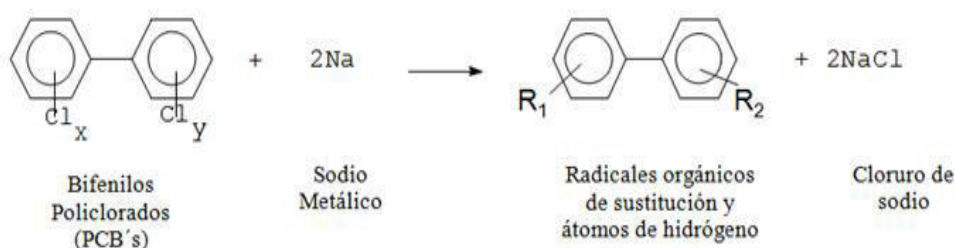


Figura 2. Reacción de eliminación de PCB's con sodio metálico

Fuente. Kioshi (s.f)

1.4. Justificación práctica

La tecnología de declorinación, homologada por la empresa Kioshi de Argentina, consiste en una tecnología para la destrucción de PCB's sin incineración. Se trata del proceso de una tecnología de aplicación a escala mundial. Dicha tecnología permite obtener resultados no detectables de PCB's. Los beneficios del proceso de declorinación, que propone Kioshi, es aplicar la tecnología en el mismo lugar donde se encuentran los PCB's, para evitar gastos de traslado de equipos y evitar accidentes por derrames, el proceso de declorinación asegura también que no generan residuos con PCB's, no genera gases nocivos ni efluentes líquidos (Kioshi, s.f.).

1.5. Justificación Legal

En el Perú, existe un marco legal internacional y nacional aplicable a la gestión de PCB's, ya que establece que los PCB's son sustancias y residuos peligrosos. A nivel internacional el Convenio de Basilea se refiere al movimiento transfronterizo de residuos peligrosos y su eliminación (1989), donde afirma que los PCB's son “desechos peligrosos” y aquellos Países que firmaron este Convenio deben

controlarlos; el Convenio de Estocolmo determina respecto a los Contaminantes Orgánicos Persistentes (COP), donde establece obligaciones para eliminar o restringir la producción y el uso de los COP, entre los que se hallan los PCB's; y el Convenio de Rotterdam sobre el consentimiento con fundamento a la aplicación a ciertos productos químicos peligrosos y el uso de plaguicidas para comercio internacional, estos convenios, al haber sido ratificados por el Perú, son de cumplimiento obligatorio. (Ministerio de Salud - DIGESA, 2017)

Respecto al marco legal nacional, el día 20/07/2018 mediante la Resolución Ministerial N° 683-2018/MINSA, se realizó el publicado en el Portal Institucional del proyecto del Reglamento Técnico para la Gestión Sanitaria y Ambiental de los bifenilos policlorados, el cual una vez aprobada fortalecerá la obligación para aquellos propietarios de equipos con contenido de PCB's realicen una adecuada gestión de los bifenilos policlorados. (Ministerio de Salud, 2018)

1.6. Justificación Económica

Otro criterio de decisión también fue la parte económica, ya que el tratamiento por incineración, es el método más conocido para la eliminación de los PCB's, sin embargo, este tratamiento no se encuentra en el Perú, encontrándose principalmente en los países como: Francia, Canadá, Europa, Estados Unidos, México, Brasil, etc. La incineración es un tratamiento de residuos costoso, debido a su elevado costo operacional, por otra parte, como en el Perú no existe esta tecnología, se debería de realizar toda la logística para la exportación de los residuos con presencia de PCB's, para esto se debe de considerar lo siguiente:

- Solicitar consentimiento o autorización a los países de importación o tránsito para efectuar la exportación de residuos peligrosos.
- La exportación debe de realizarse mediante una empresa autorizada para la exportación de residuos peligrosos.
- Considerar costos para tratamiento por tonelada de residuo.
- Considerar costos para transporte terrestre, hasta lugar de embarque.
- Considerar costo para transporte marítimo, hacia país de destino.
- Considerar costo para trámites y autorizaciones.

- Considerar costo para seguro de riesgos y otros seguros a pedido.

1.7. Objetivos de la Investigación

1.7.1. Objetivo General

Determinar mediante el tratamiento por dechlorinación, la reducción de contenido de PCB's de los aceites dieléctricos, hasta por debajo de 50 ppm, para evitar riesgos de salud de los trabajadores y al medio ambiente.

1.7.2. Objetivos Específicos

Objetivo específico 1

Determinar mediante el detector de PCB's llamado Clor-n-oil 50, aquellos aceites dieléctricos con más de 50 ppm y descartar de aquellos transformadores con aceites dieléctricos sin PCB's.

Objetivo específico 2

Demostrar que el análisis por cromatografía de gases, muestra resultados exactos y cuánticos y verifica los resultados que salieron positivos por el uso de los detectores de PCB's Clor-n-oil 50.

Objetivo específico 3

Demostrar que existe relación entre aquellos transformadores identificados con PCB's, y el año de su fabricación antes de 1979.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1. Marco Filosófico o Epistemológico

En el devenir de los años y en busca de aprovechar la tierra y ponerla al servicio del hombre, nos encontramos que el uso de la tierra puede generar contaminación, poniendo en riesgo la vida del hombre y alterar el equilibrio del medio ambiente. (Kuhn, 1975).

Debe existir un acuerdo desde un punto de vista cognoscitivo, entre el hombre y su ambiente, a través del examen de la ecología, lo cual viabiliza el estudio de las interrelaciones existentes, desde el punto de vista epistemológico, en términos de Kuhn, no existe un progreso lineal acumulativo en el conocimiento científico, puesto que el proceso evolutivo de la ciencia va de discontinuidad en discontinuidad, de salto en salto, desarrollándose nuevos derroteros en el quehacer propio del corpus científico. Conviene exaltar el sentido que conlleva, como cierta necesidad histórica de nuestro tiempo, la búsqueda del entendimiento de diferentes nociones de realidad y lenguaje. (Kuhn, 1975)

Asimismo (Kuhn, 1975) admitido: “Que el desarrollo histórico de una ciencia, en cada caso está un paso hacia mejores soluciones de los problemas. Dado el caso de la contaminación se debe establecer la carga contaminante, en donde ocupan personas y existe actividad agrícola, es importante evitar la acumulación de la carga contaminante sobre el suelo, agua y aire”. Es por eso que en la búsqueda de lograr un equilibrio por la afectación de la contaminación se hace forzoso el tratamiento por la

declorinación de los bifenilos policlorados, para el control de riesgos de la salud de los trabajadores y el medio ambiente en un sector determinado.

La génesis de los bifenilos policlorados, no se generaron en la naturaleza, este compuesto fue generado por el hombre, comenzó siendo sintetizados por primera vez en 1862 por W. R. Fittig, posteriormente muchos científicos perfeccionaron su fabricación con distintos productos, que en su momento no lo veían nocivos ni tóxicos, como el uso del cloro y realizaron pruebas en diferentes condiciones, descubriendo procesos que ayudaban a reducir costos en su fabricación, y que a poco tiempo los bifenilos se volvieron comerciales para las diferentes industrias, siendo como uso principal en el sector energético, por sus características que los agraciaba, debido a su baja inflamabilidad y resistencia al calor, para evitar explosiones de los transformadores en las subestaciones (Varsavsky, 2006)

2.2. Antecedentes de la Investigación

2.2.1. Antecedente Nacional

En el Perú como antecedente, se desarrolló el Proyecto de “Manejo y disposición Ambientalmente Racional de Bifenilos Policlorados (PCB)”, realizándose el inventario y eliminación de existencias y residuos con PCB, con la participación de empresas voluntarias, participando principalmente empresas del sector eléctrico como son las empresas eléctricas de Hidrandina S.A., Electrocentro S.A. y Electro Puno S.A.A. que significaron el 42.54% del aporte de las empresas socias. (Dirección general de Salud Ambiental de Inocuidad Alimentaria [DIGESA], 2017).

El inventario se realizó a 15 912 equipos de distintos sectores; considerándose el 70% del sector electricidad, 23% del sector Industria, 2% del sector transporte y el 5% del sector de minería. El Muestreo, descarte y análisis fue confirmatorio por cromatografía de gases. Resultando 309 equipos con PCB, donde solo 264 equipos formaron parte del proceso de eliminación, esto debido que varios equipos se

encontraban en actividad y para muchas empresas era difícil reemplazarlos. Para la eliminación, se realizó una Licitación Internacional, habiendo obtenido la buena pro, la firma “Tredi S.A del Grupo Seché de Francia”, a quien se le determinó esta actividad mediante el Contrato N° 3000025804, firmado el mes de mayo del 2015. El Contrato permitió el tratamiento de los PCB's, para 264 equipos con un peso de 142.5 toneladas. Los equipos con PCB's de alta concentración, fueron eliminados mediante incineración en el extranjero. La planta de declorinación estuvo instalada en el predio de propiedad de la *empresa Kanay perteneciente al Grupo Séché*, ubicado en la ciudad de Lima, Distrito de Villa el Salvador. La incineración se realizó en la Planta de Saint Vulvas de Tredi S.A., ubicada en Lyon, Francia. (Dirección general de Salud Ambiental de Inocuidad Alimentaria [DIGESA], 2017).

Concluyendo el proceso de declorinación, se realizó el proceso de retrolleado, para el cual se tuvo un periodo de exudación de 180 días, para permitir la estabilización del excedente de productos contaminados que podría haber quedado en las paredes, núcleo, madera y papel del interior del equipo. Los análisis por cromatografía de gases se realizaron al 100% de equipos que fueron sometidos al retrolleado (134 equipos que fueron analizados), dando resultados positivos a concentración promedio de 3 ppm.

- Registrándose 97 equipos con resultados menores a 1.06 ppm.
- Registrándose 25 equipos con resultados de 1.06 ppm a 10 ppm
- Registrándose 10 equipos con resultados de 20 ppm a 30 ppm
- Registrándose 2 equipos con resultados de 30 ppm a 50 ppm

En conclusión, el tratamiento por declorinación de los aceites dieléctricos con valores de menos de 500 ppm, de los 134 equipos transformadores, se realizaron en 49 batch, siendo cada batch de 500 Litros, en total fueron 24 500 Litros de aceites declorinados, para luego realizarse el muestreo y análisis por cromatografía de gases y obteniendo resultados por debajo del LMP que es de 50 ppm (Dirección general de Salud Ambiental de Inocuidad Alimentaria [DIGESA], 2017)

2.2.2. Antecedentes Internacionales

Como antecedente internacional se encontró al proyecto de “Recuperación de transformadores contaminados con PCB’s de la Empresa Energética San Juan S.A de Argentina”. (Hidalgo, 2009).

El presente proyecto detalla el tratamiento para la descontaminación de transformadores contaminados con PCB’s, implementada con éxito en 989 transformadores generados por la empresa Energética San Juan S.A, de la república de Argentina. Esta metodología consta de etapas y procedimientos de trabajo, que permitirán descontaminar a los transformadores y el aceite que contenían, posibilitando la reutilización completa de los transformadores, y sin generar residuos con PCB’s.

Esta tarea se realizó paralelo al retrolleado. Para tal fin Energía San Juan S.A., utilizó un método de descontaminación que se denominó “Declorinación con Sodio Metálico”. Este método emplea sodio metálico para la declorinación de las moléculas de PCB’s. Los gases que se liberan están en su mayoría formados por vapor de agua e hidrocarburos livianos, que son retenidos por condensación y por un filtro de Carbón Activado. (Hidalgo, 2009).

La determinación para el desarrollo del método para la descontaminación de los aceites se basó por lo siguiente:

- Método rápido, sencillo y seguro, de fácil implementación y bajo costo.
- Descontamina los aceites dieléctricos a niveles no detectados de PCB’s.
- Posibilita su regeneración de los aceites y equipos, para ser vueltos a reutilizarlos.
- Los residuos generados en el proceso de declorinación son mínimos y libres de PCB’s.

Posteriormente, los aceites descontaminados fueron regenerados. (Hidalgo, 2009)

2.3. Bases Teóricas

2.3.1. Concepto de Bifenilos Policlorados (PCB's)

Los Bifenilos Policlorados o más conocidos por sus siglas en inglés como “*PolyChlorinated Biphenyls*” (PCB's). Considerados como compuestos orgánicos nombrados como hidrocarburos aromáticos clorados, su fórmula general es $C_{12}H_{10-n}Cl_n$ (n puede variar entre 1 a 10) (ver Figura 3). Su formulación química, está formada por dos anillos bencénicos unidos entre sí, dando lugar al bifenilo, que sería la estructura de la molécula base de los PCB's que, mediante la reacción química en presencia de un catalizador, obtiene distintos grados de cloración. (Posada, 2006)” (Astudillo Pillaga, 2014)

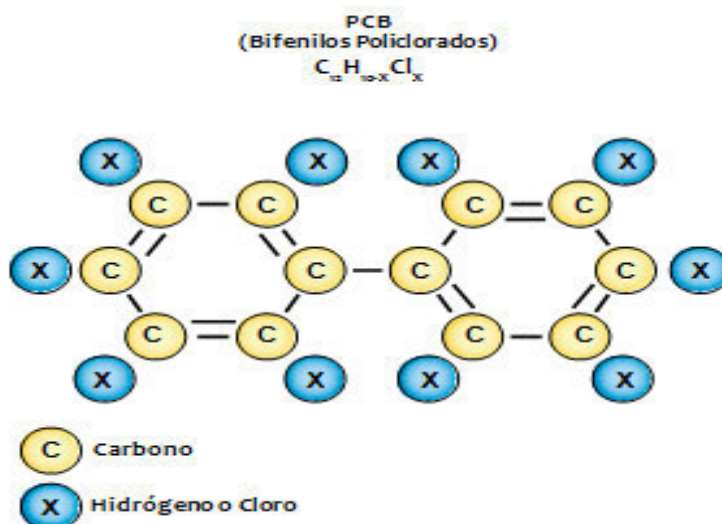


Figura 3. Formula General de los PCB's.

Fuente. MINSA “Guía para el manejo ambientalmente racional de existencias y residuos de bifenilos policlorados (2017).”

“Normalmente de 4 a 6 de los 10 lugares posibles de sustitución, son ocupados con un átomo de cloro. (Environment Canadá, 1988)” (Ministerio de Salud - DIGESA, 2017,p.20).

Casi la mitad de estos congéneres fueron encontrados en el ambiente. Los mono-orto tienen un átomo de cloro en la posición orto, los di-orto tienen dos átomos de cloro en la posición orto. Los PCB's planares se parecen a las dioxinas, debido a su estructura plana y tienen átomos de cloro en las posiciones para y meta de la estructura del anillo fenilo. (Svati Patandin, 1999)". (Ministerio de Salud - DIGESA, 2017,pg.21).

Los PCB's tienen diferentes características fisicoquímicas y tóxicas que dependen de la cantidad de átomos de cloro y la posición que tengan en la molécula (ver Figura 4). Estos son estables a altas temperaturas y solamente pueden ser incinerados bajo condiciones extremas y cuidadosamente controladas. Los PCB's son poco solubles en agua y tienen una baja volatilidad y estabilidad en ácidos y alcalinos, oxidación y otras reacciones químicas. Son altamente solubles en lípidos, hidrocarburos y compuestos orgánicos. (Ortiz, 2015, p.13).

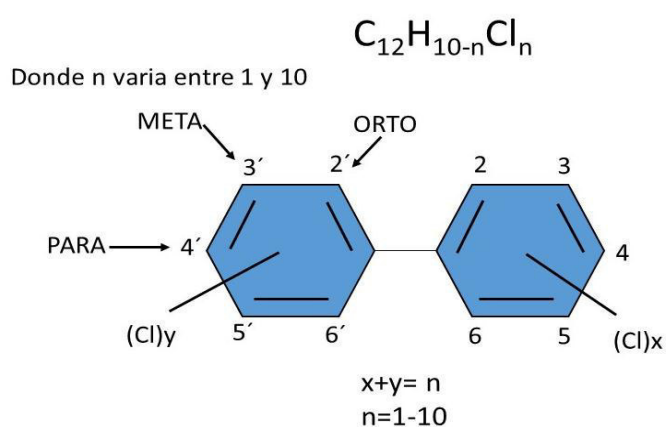


Figura 4. Estructura Molecular de los PCB's.

Fuente. Loayza J, Silva M, Arce. (2013).

La Unión Internacional de Química Pura y Aplicada (International Union of Pure and Applied Chemistry- IUPAC) clasifica a los PCB's en tres tipos: *homólogos* nombre del compuesto que indican el número de átomos de cloro de la molécula, los *congéneres* cuyos nombres indican la posición del cloro en la molécula y las *mezclas* que son nombres comerciales presentado en el (Tabla 1), existen en teoría alrededor

de 209 congéneres de los cuales solamente se han encontrado 130 en las mezclas químicas industriales. (Posada, 2006, p.10).

Tabla 1. Nombres Comerciales de los PCB's

Aceclor	Chorextol	Fenocloro	Phenochlor
Adkarel	Chorinol	Gilotherm	Phenoclor
ALC	Clophen	Hydol	Plastivar
Apirolío	Clophenharz	Hyrol	Polychlorinated biphenyl
Apirorlio	Cloresil	Hyvol	Polychlorinated biphenyls
Arochlor	Clorinal	Inclor	Polychlorinated diphenyl
Arochlors	Clorphen	Inerteen	Polychlorinated diphenyls
Aroclor	Decachlorodiphenyl	Inertenn	Polychlorobiphenyl
Aroclors	Delor	Kanechlor	Polychlorodiphenyl
Arubren	Delorene	Kaneclor	Prodelec
Asbestol	Diaclor	Kennechlor	Pydraul
ASK	Dicolor	Kenneclor	Pyraclor
Askael	Diconal	Leromoll	Pyralene
Askarel	Diphenyl, chlorinated	Magvar	Pyranol
Auxol	DK	MCS 1489	Pyroclor
Bakola	Duconal	Montar	Pyronol
Biphenyl, chlorinated	Dykanol	Nepolin	Saf-T-Kuhl
Chlophen	Educarel	No-Flamol	Saf-T-Kohl
Chloretol	EEC-18	NoFlamol	Santosol
Chlorextol	Elaol	Non-Flamol	Santotherm, Santothern
Chlorinated biphenyl	Electrophenyl	Olex-sf-d	Santovac, Solvol, Sorol,
Chlorinated diphenyl	Elemex	Orophene	Soval, Sovol, Sovtol
Chlorinol	Elinol	PCB	Terphenychlore
Chlorobiphenyl	Eucarel	PCB's	Therminal
Chlorodiphenyl	Fenchlor	PCBs	Therminol
Chlorphen	Fenclor	Pheaoclor	Turbinol

Fuente. Posada (2006).

2.3.2. Reseña Histórica sobre la fabricación de los PCB's

Los PCB's se fabricaron industrialmente desde el año 1929 en los países de Japón, Estados Unidos, Rusia, China y Europa Occidental, con diferentes nombres comerciales, como entre los más conocidos el Askarel, Aroclor, Clophen, Kaneclor, entre otros. Su uso inicial se observó en capacitores y posteriormente se hizo más común en transformadores (los primeros aislantes de aceites con PCB's, se pusieron en servicio el año 1931), pero debido al comportamiento frente a los voltajes de impulso, el uso de los Askareles en los transformadores estuvo restringida al rango de 34,5 kV a 7,5 MVA. La restricción de su fabricación, se inició el año de 1972 en Japón, 1974 en China, 1979 en Estados Unidos, 1980 en Europa Occidental y 1992 en Rusia; y para el siglo XXI su producción y venta se encuentra prohibida a nivel mundial (ver Figura 5). (Inter Organization Programme for the Sound Management of Chemicals [IOMC] & United Nations Environmental Programme [UNEP] , 1999)” (Ministerio del Ambiente y Desarrollo, 2015).

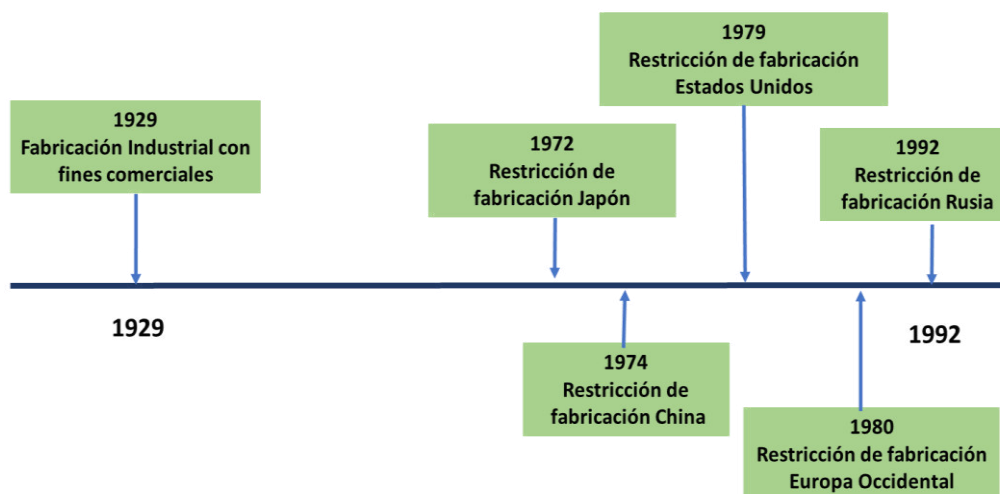


Figura 5. Línea de tiempo de fabricación y restricción de los PCB's.

Fuente. IOMC⁹ (1999).

⁹ Términos en inglés” Inter Organization Programme for the Sound Management of Chemicals (IOMC)”, significa: Programa interorganizacional para la gestión racional de sustancias químicas.

2.3.3. Propiedades fisicoquímicas de los PCB's

Las moléculas de PCB's son bastante estables, por esto resisten la descomposición química, biológica y térmica, son buenos conductores de calor y aislantes eléctricos. (Martinelli, 2003)

(Mussini, 1998) afirma: “Los PCB's son sustancias de viscosidad variable, van de líquidos a sólidos; de estabilidad resinosa cuando contienen altas cantidades de cloro; con elevada estabilidad química; son resistentes al calor y a la oxidación”. En estado líquido pueden ser incoloros hasta amarillos, con olor fétido y textura viscosa. Al mezclar con otros compuestos pueden modificar sus propiedades físicas, químicas y mecánicas.

Su punto de inflamación es elevado, debido a la presencia de cloro; no son solubles en agua, pero si en solventes orgánicos, como aceites y grasas vegetales o sintéticas. Dado que los PCB's constituyen una mezcla compleja, sus propiedades físicas dependen de la composición de la mezcla, estas varían de acuerdo al grado de cloración y posición de los átomos de cloro en la molécula del bifenilo. (Mussini, 1998).

En la Tabla 2, se muestran las características fisicoquímicas más relevantes de los bifenilos policlorados.

El aspecto de los PCB's varían, entre líquida transparente aceitosa a líquida viscosa y oscura, también puede presentarse como sólidos blancos cristalinos (similar a la arena) y resinas amarillas a negras en relación al contenido de cloro. Su viscosidad varía desde muy ligera hasta muy espesa, con aspecto de jarabe. Sus puntos de inflamación pueden ser tan bajos como de 140°C a 200°C. (Ministerio de Salud - DIGESA, 2017, p.22).

Tabla 2. Características fisicoquímicas más importantes de los PCB's

Parámetros	Características
Estado físico	Líquido viscoso a temperatura ambiente.
Densidad	1,182 a 1,566 g/mL
Solubilidad en agua	Baja, entre $1,08 \times 10^{-5}$ y $9,69 \times 10^{-10}$ mol/litro (reduce con la masa molecular relativa)
Solubilidad en aceites y solventes orgánicos	Alta
Solubilidad en lípidos	Rápidamente absorbidos por tejidos grasos
Coefficiente de partición log KOW	4,46 – 8,18
Punto de inflamación	Alto (170 – 380 °C) (no explosivos)
Presión de vapor	Baja (semivolátiles), forman vapores más pesados que el aire, pero no forman mezclas explosivas con el aire. Disminuyen con la masa molecular relativa y aumenta el grado de sustitución de los cloros en posición orto.
Constantes de la Ley de Henry	$0,3 \times 10^{-4}$ – $8,97 \times 10^{-4}$ atm m ³ /mol (a 25°C, técnica de purga de gas) determinada para 20 congéneres
Constante dieléctrica	Alta (baja conductividad eléctrica)
Estabilidad térmica	Alta resistencia al fuego (piroresistentes) con temperatura de inflamabilidad elevada. Cuando se calientan pueden producir dibenzofuranos policlorados, con máxima producción entre los 550 °C y 700 °C. No cristalizan a bajas temperaturas, pero se transforman en resinas sólidas.
Estabilidad química	Alto grado de estabilidad química bajo condiciones normales. Resistentes a la oxidación, a ácidos, bases y otros agentes químicos. De acuerdo a pruebas de laboratorio, permanecen inalterados químicamente, aún en presencia de oxígeno o algunos metales activos a altas temperaturas (sobre 170 °C) y por períodos prolongados.
Impurezas conocidas en mezclas comerciales de PCB	Dibenzofuranos clorados (en concentraciones de pocos miligramo- mg/kilogramo-kg y 40 mg/kg), naftalenos clorados y cuaterfenilos clorados
Color	Amarillo claro u oscuro.

Fuente:(CONAMA & PNUMA, 2004).

2.3.4. Usos de los Bifenilos Policlorados

Las aplicaciones de los PCB's, se clasificaron en sistemas cerrados, parcialmente cerrados y abiertos. Los PCB contenidos en sistemas cerrados no pueden liberarse fácilmente al medio ambiente. Generalmente los sistemas cerrados son controlados y los parcialmente cerrados no son controlados. En aplicaciones abiertas, los PCB's toman la forma del producto donde han sido utilizados como un ingrediente, por lo tanto, pueden encontrarse en formas que varían desde pinturas, plásticos o goma. En las aplicaciones abiertas, sin presencia de etiquetas se necesitan un análisis químico, para la determinación de PCB's (Inter Organization Programme for the Sound Management of Chemicals [IOMC] & United Nations Environmental Programme [UNEP] , 1999)” (Ministerio del Ambiente y Desarrollo, 2015)

La Organización de Cooperación y Desarrollo Económicos (OCDE) en 1973, presentó información sobre las aplicaciones de los PCB's, clasificando su uso en 3 categorías (Ministerio de salud – DIGESA, 2017).

2.3.4.1 Sistemas cerrados controlados

Considerados como sistemas cerrados a los PCB's utilizados en transformadores y grandes condensadores, con sistemas para controles de acuerdo a cada diseño (Ministerio de Salud - DIGESA, 2017)

2.3.4.2 Sistemas cerrados no controlados

Considerados como sistemas cerrados no controlados, al uso de los PCB's en los termocambiadores hidráulicos y de transferencia de calor, a pesar de estar técnicamente cerrados, pueden tener escapes. Los PCB's están ampliamente distribuidos en pequeños condensadores y es difícil recoger estas piezas para su eliminación. Determinadas también en lubricantes de turbinas de gas y de vapor, compresores de gas y de aire, interruptores, reguladores de tensión, motores eléctricos refrigerados con líquido, sistemas hidráulicos y lubricantes en equipos

de minas y barcos, también en bombas de vacío, en electroimanes, cables eléctricos con fluidos oleosos aislantes, disyuntores. (Ministerio de Salud - DIGESA, 2017)

2.3.4.3. Aplicaciones que implican dispersión

Los PCB's se aplicaron en la formulación de aceites lubricantes, aceites para moldeo y corte, aceites para cuchillas, plaguicidas, pinturas plastificantes, papel de copia, sin carbón, adhesivos, plásticos, sellos de cierre de bombas de vacío, también se aplicaron en materiales de construcción: Asfaltos, aislantes de ruido, en paneles aislantes de techo, selladores; agentes desempolvantes; medios de montaje de microscopios y aceites de inmersión; líquidos para análisis de viscosidad; ignífugo en telas, alfombras, espumas de poliuretano (Ministerio de Salud - DIGESA, 2017).

En estas aplicaciones, los PCB se encontraban en contacto directo con el medio ambiente, difícil de recuperarlos al desechar estos productos. Se estima que el 21% de los PCB se aplicaron en sistemas abiertos sin control. (Ministerio de Salud - DIGESA, 2017)

Hoy en día aún las aplicaciones de los PCB's, en sistemas abiertos se encuentran en uso y al convertirse en residuo, las personas no lo reconocerán como residuos peligrosos, para poder aplicar una adecuada disposición final. Los PCB's en aplicaciones abiertas fueron usados muchas industrias, edificios públicos y privados, plantas de generación hidráulica, plantas para tratamiento de aguas, bases militares, astilleros, etc. (Ministerio de Salud - DIGESA, 2017)

En la Tabla 3, se puede apreciar las mezclas de arocloros, que fueron usados en diferentes equipos y productos industriales, entre los más principales el 1232 (32% de cloro); 1242 (42 % de cloro); 1254 (54% cloro); 1248 (48% de cloro) y el 1260 (60% de cloro), y todos con 12 átomos de carbono y sus contenidos en porcentaje de cloro. (Environmental Protection Agency [EPA], 2013).

Tabla 3. Resumen de varios usos según los Arocloros

USO FINAL	AROCLORES								
	1016	1221	1232	1242	1248	1254	1260	1262	1268
Capacitores	x	x				x			
Transformadores				x		x	x		
Intercambiadores de calor				x					
Aceites hidráulicos/lubricantes									
Fluidos hidráulicos			x	x	x	x	x		
Bombas de vacío				x					
Plastificantes									
Cauchos		x	x	x	x	x			
Resinas sintéticas					x	x	x	x	x
Papel copia sin carbón				x					
Misceláneos									
Adhesivos		x	x	x	x	x			
Aditivos de cera						x			
Agentes de extracción de polvo						x	x		
Tintas						x			
Aceites para corte						x			
Aditivos para plaguicidas						x			
Componentes para sellantes y para calafateado.						x			

Fuente. Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades (2016).

Son muchas las aplicaciones abiertas que están diseminadas en todo el mundo, aún existen edificaciones antiguas en las que se puede hallar este tipo de aplicaciones. En la Tabla 4, se aprecia los sectores y aplicaciones que usaron PCB's. (Environmental Protection Agency [EPA], 2013).

Tabla 4. Sectores y aplicaciones que usaron PCB's

SECTORES	USOS
Operaciones Mineras	Transformadores, Condensadores, Tomas de tierra, Pinturas, Fluidos hidráulicos, Cables húmedos, y Fluorescentes.
Eléctrico (incluyendo distribución)	Transformadores, Grandes condensadores, Condensadores pequeños, Interruptores, Reguladores de voltaje, Interruptores de circuito, Cables rellenos de líquido y Electroimanes.
Instalaciones industriales - Metal: aluminio, cobre, hierro, acero; Cemento; Química; Plásticos; Refinerías de petróleo	Transformadores, Grandes condensadores, Condensadores pequeños, Fluidos hidráulicos, Fluidos refrigerantes, Reguladores de voltaje, Interruptores de circuito y Electroimanes.
Ferrocarril	Transformadores, Grandes condensadores, Electroimanes y Reguladores de voltaje.
Instalaciones Militares	Transformadores, Grandes, Interruptores de circuito, condensadores, Condensadores pequeños, Reguladores de voltaje y equipos de Fluidos hidráulicos.
Edificios comerciales, Hospitales y residenciales; Oficinas; Escuelas; Comercios y Residencias	Pequeños condensadores (lavadoras y secadores). Electroimanes, Fluorescentes, Interruptores de circuito, Pinturas, Masillas de vidrios y Sellantes.
Laboratorios de investigación	Balastros de lámparas fluorescentes, Pequeños condensadores, Bombas de vacío, Interruptores de circuito, Líquidos para análisis de viscosidad y Medios de montaje de microscopios.
Fabricación de componentes electrónicos	Balastros de lámparas fluorescentes, Bombas de vacío, Pequeños condensadores, Interruptores de circuito.
Plantas depuradoras de aguas residuales	Bombas de vacío, Motores de pozos.
Talleres de reparación y mantenimiento de Automóviles	Aceites usados
Vertederos y plantas de gestión de residuos; Residuos urbanos e industriales y Chatarrerías.	Aparatos y equipos desguazados, Escombros Chatarras y Vertidos.
Agricultura	Plaguicidas, Transformadores y Bombas de vacío.

Fuente: Ministerio de Salud – DIGEA (2017).

2.3.5 Principales productos que usaron PCB's

Entre los principales equipos, donde se aplicaron los PCB's fueron los transformadores, capacitores y balastos. (Corporation, 2014)

2.3.5.1. Transformadores

Son equipos que aumentan o disminuyen los niveles de voltaje de una corriente eléctrica; están compuestos generalmente por una carcasa metálica, cuentan con núcleo de acero magnético, también tienen bobinas de cobre (cubiertas con capa de material aislante, como resina o papel especial), en la parte interna tienen separadores o conocidas como cuñas de madera de diversas formas, ya llenado aceite dieléctrico; en el cual están sumergidos todos los elementos que constituyen el circuito magnético. Por esta razón, los materiales metálicos y porosos del circuito magnético, así como cuñas de madera, cartón, papel aislante y cubiertas de resina, quedan impregnados con el aceite dieléctrico, y también se deben de considerar materiales o desechos con PCB's. Su manejo se debe contemplar semejante a las de los fluidos dieléctricos contaminados con PCB's, en la Figura 6 se muestran las Partes del transformador. (Corporation, 2014).

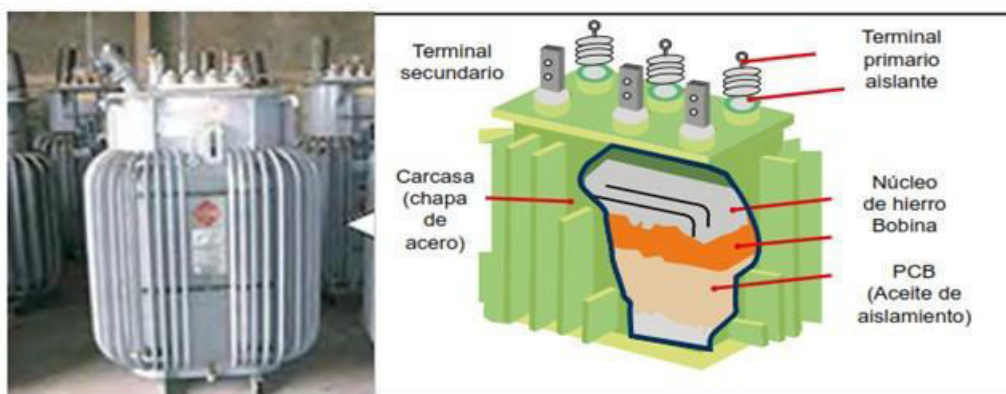


Figura 6. Partes del Transformador.

Fuente. Corporation (2014).

Los transformadores varían de tamaño y forma. Regularmente, los transformadores de gran tamaño con PCB's se han utilizado en circuitos que requieren medidas especiales de protección contra incendios, fundamentalmente en sistemas cerrados de distribución de electricidad, en edificios residenciales y

comerciales y en instalaciones industriales que desarrollan producciones comburentes como las mineras, textiles y papeleras. (Ministerio del Medio Ambiente [MMA] & Canadian Energy Research Institute [CERI] & Agencia Canadiense para el Desarrollo Internacional [ACDI], 2001)

2.3.5.2. Condensadores

El fin de los condensadores es para mantener y acumular una carga eléctrica, compuesta principalmente por placas conductoras de electricidad o láminas metálicas delgadas, separadas por un material dieléctrico, no conductor. Las placas son bobinas de láminas metálicas, separadas eléctricamente, y cada una tiene contactos que salen del condensador. El material dieléctrico suele ser un fluido dieléctrico que puede o no contener PCB's. (Programa de la Naciones Unidas para el Medio Ambiente [PNUMA], 2002). En la Figura 7, se muestra las partes del condensador.

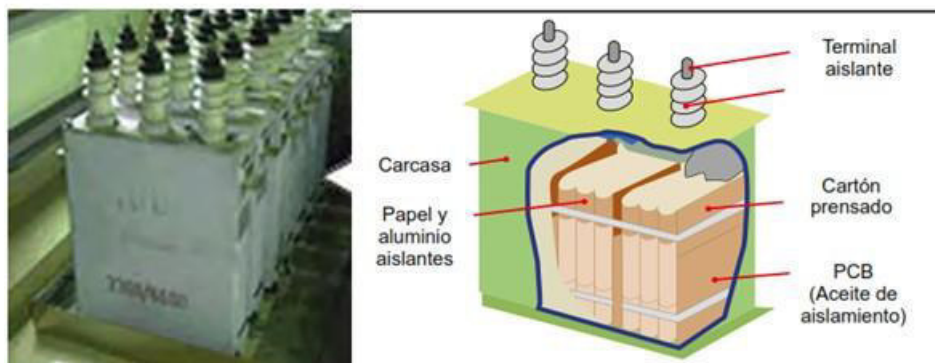


Figura 7. Partes del Condensador.

Fuente. Corporation (2014)

2.3.5.3. Balastros

Los balastros son pequeñas configuraciones compuestas por un transformador, capacitor y un interruptor eléctrico térmico, que individualmente pueden considerarse sujetos de la gestión y eliminación; los cuales en muchos casos forman parte de lámparas o dispositivos para iluminación, razón por la cual, los

propietarios de grandes volúmenes de inventario de accesorios para lámparas fluorescentes de neón instalados (encontrados en edificios institucionales, conjuntos residenciales o alumbrados públicos) deberán recoger y eliminar de manera ambientalmente adecuada los balastos que se hayan identificado con PCB's. En la Figura 8, se observa las partes del balastro (Environmental Protection Agency [EPA] 2013).

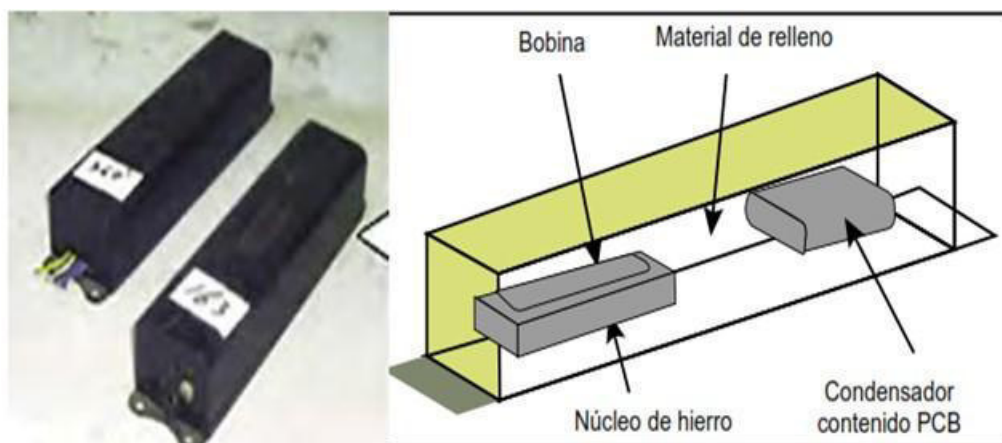


Figura 8. Partes del Balastro.
Fuente: Corporation (2014)

2.3.6. Toxicidad de los PCB

La accidentada liberación de los PCB's, se considera peligrosa, esto debido a la toxicidad que presentan este tipo de compuestos orgánicos persistentes, dependiendo de la concentración del contaminante en el medio, las vías de exposición al ser humano, la dosis recibida y la frecuencia de exposición, se deben a las condiciones, como se encuentran los PCB's. Existen tres rutas de exposición por donde pueden ingresar los PCB's al organismo de la persona, ya sea por inhalación por el sistema respiratorio al inhalar vapores de PCB's, gases de combustión, luego puede generarse por ingestión o sistema digestivo al consumir alimentos contaminados con PCB's, también a través de la leche materna proveniente de una madre contaminada y absorción a través de la piel durante labores y accidentes de trabajo, o a través de la placenta de una madre afectada, en la Figura 9 se muestra la exposición y

eliminación de los PCB's en el organismo. (LaGreca M, Buckingham P, & Evans J, 1996).

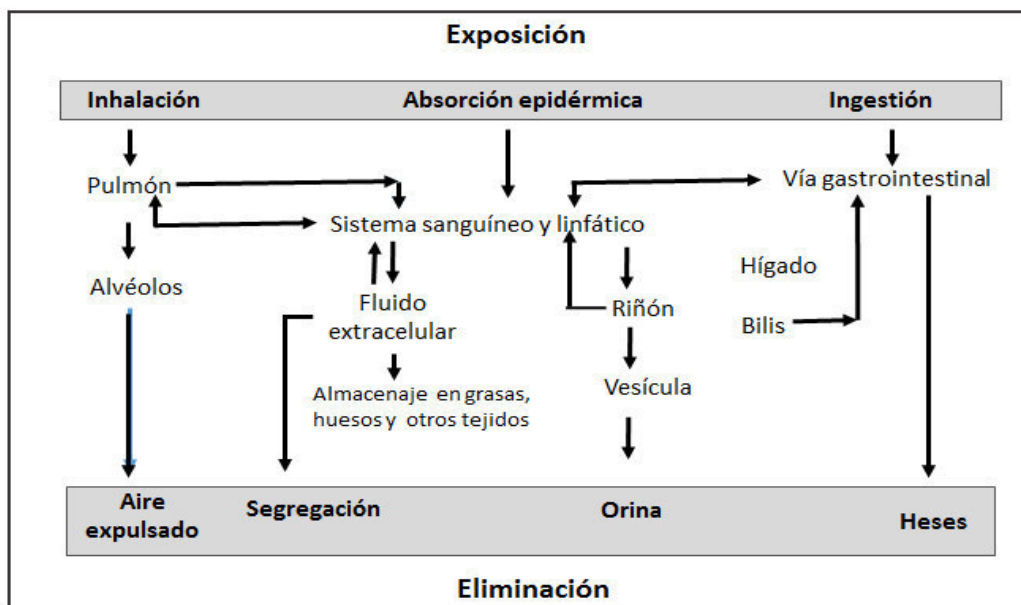


Figura 9. Proceso de Absorción y expulsión de PCB's en seres vivos.

Fuente. Elaboración propia con información de LaGreca M, Buckingham P, & Evans J (1996).

Una vez que ingresan estos compuestos al organismo vivo (humano o animal), difícilmente son hidrolizados y, por ende, no son expulsados en la orina, heces o sudor; por el contrario, se acumulan en el organismo, alojándose principalmente en tejido graso. De tal manera que los deteriora la salud de las personas y se presentan síntomas a mediano o largo plazo, con las siguientes afecciones crónicas, a saber:

- Irritación de los ojos, hipersecreción de las glándulas lagrimales y conjuntivitis;
- Daños hepáticos y deficiencias hipertrofia enzimática;
- Anemia e hiperleucocitosis;
- Efectos con el sistema reproductivo;
- Irritación cutánea e hiperpigmentación y cloracné;
- Problemas con el sistema nervioso. Por su parte, los bebés gestados por una madre intoxicada tienden a tener bajo peso al nacer, y mostrar anomalías óseas.

Es necesario resaltar que los mayores riesgos de contacto, los asumen las personas que trabajan en algún sector industrial, principalmente trabajadores del área de mantenimiento de equipos eléctricos, al momento que intervienen estos equipos, también en las etapas de limpieza, tratamiento y eliminación de PCB's. (Comisión Nacional del Medio Ambiente [CONAMA] & Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente [PNUMA], 2004).

2.3.7. Efectos al ambiente y la salud del hombre

Los bifenilos policlorados, tienen la habilidad de mantenerse inalterados en el ambiente por largos periodos de tiempo, una vez liberados ya sea por descargas permitidas o accidentales, pueden propagarse deliberadamente por el planeta tierra, debido a los procesos naturales, que se generan en el suelo, agua y aire. El Convenio de Estocolmo considera que un compuesto es persistente a una vida media, cuando supera los 2 meses en agua, o superior a 6 meses en el suelo, o en sedimentos si persiste más de 6 meses. Debido a su capacidad derivada para bioacumularse, su estabilidad física o hidrofobicidad de los PCB's, están presentes en toda la cadena alimentaria del planeta. La biomagnificación es inevitable: su concentración aumenta en relación con que asciende en la pirámide trófica, asociadas principalmente a tejidos grasos.

Los PCB's en aguas superficiales se encuentran en cantidades sustanciales. De modo que los compuestos, tienen a adherirse a la superficie la materia orgánica, que está en suspensión en el agua y pueden permanecer en los sedimentos durante mucho tiempo, liberándose lentamente en el agua y evaporándose en el aire. Regresan de nuevo a la atmósfera, sobre todo cuando hace calor, por medio de la evaporación y también cuando las concentraciones de PCB's en los sedimentos secos son muy altas. (Lauby Secretan B, y otros, 2013)

La Figura 10; muestra la bioacumulación de los PCB's, en un modelo de cadena trófica en donde involucra a un depredador y su presa, significando que las presas tienen menor concentración de sustancia tóxicas, a diferencia que los predadores, ya que los PCB's predominan en tejidos grasos de origen animal, encontrándose en los

alimentos como: huevos, leche o pescado y en los alimentos de origen vegetal, presentan menor concentración. (Fernández Gonzales et al. 2013).

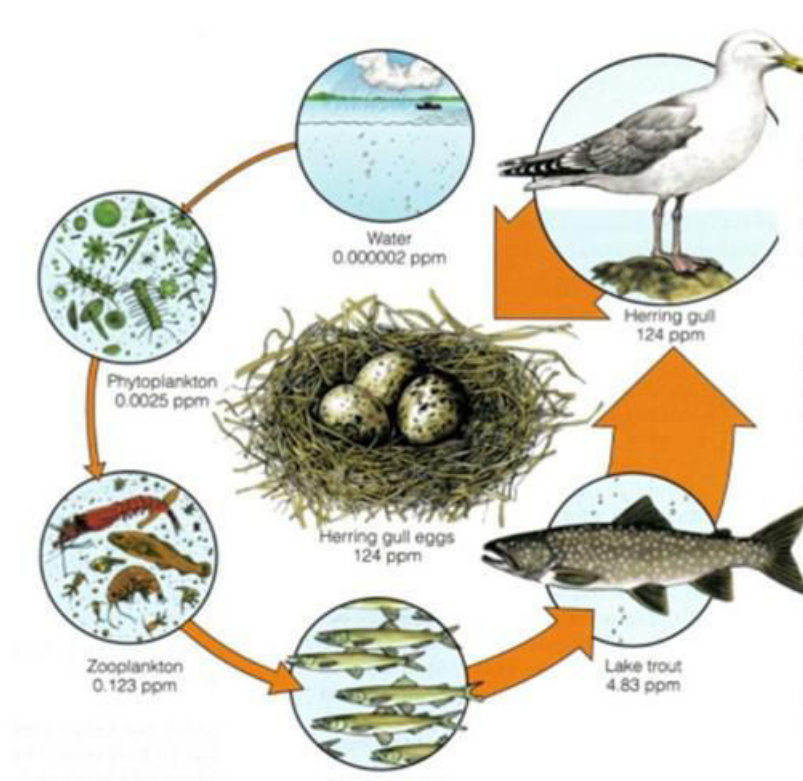


Figura 10. Bioacumulación de PCB's.
Fuente. Lauby Secretan B, y otros (2013).

Los PCB's presentes en el aire se pueden depositar en la superficie de la tierra cuando llueve o nieva, adhiriéndose las partículas, similar al polvo u hollín. La acumulación de PCB's en la tierra, se produce en el suelo y las plantas, los cuales sirven como alimento para muchos invertebrados, como también aves y los mamíferos. La luz solar desempeña un papel importante en la degradación de los PCB's, presente en el aire, el agua y el suelo superficial. En la atmósfera, estos contaminantes pueden reaccionar con el ozono y las partículas de agua bajo el efecto de luz solar. Como resultado de estas reacciones se eliminaron átomos de cloro. (Lauby Secretan B, y otros, 2013)

La exposición y consumo de estos compuestos químicos, trae consecuencias serias para la salud. Se ha demostrado que el contacto prolongado con PCB's causa daños neurológicos, reproductivos, endocrino y dermatológicos, entre otros. También genera infecciones, debido a la reducción del sistema inmune. Estudios

epidemiológicos demostrados, afirman que la mayoría de estos efectos son resultado de exposiciones crónicas. (Taylor, y otros, 2013).

La Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC), a través de estudios y pruebas con animales en laboratorio, llegan a la conclusión que los PCB's, pueden generar cáncer a los seres humanos, teniendo en cuenta la evidencia de carcinogenicidad en humanos y en animales, ha clasificado a los PCB's en el Grupo 2A (probablemente carcinógeno para humanos), por la evidencia limitada de carcinogenicidad en humanos y suficiente en animales de experimentación para adenoma hepatocelular y carcinoma de hígado, las investigaciones demuestran que los PCB's inducen a la formación de tumores mediante de modos de acción y que no involucran mutaciones genéticas. (García, s.f).

El Cloracné es una enfermedad de la piel conocida por los efectos típicos de la ingesta de altas concentraciones de PCB's y dioxinas, las cuales están relacionadas estructuralmente e incluyéndose también en el listado inicial del Convenio de Estocolmo. (Passatore L, Rossetti S, Juwarkar AA, & Massacci A, 2014).

Uno de lo casos más mediáticos fue protagonizado por Viktor Yuschenko, presidente de Ucrania, generado por intento de envenenamiento, cuando se encontraba en campaña política el 2004 (ver Figura 11).



Figura 11. Cloracné por envenenamiento con organoclorados.
Fuente. (BBC News, 2010).

2.3.8. Exposición ocupacional en minería por PCB's

La exposición ocupacional ocurre principalmente por las vías dérmicas e inhalatorias. Aunque los PCB's se evaporan lentamente a temperatura ambiente, su volatilidad aumenta dramáticamente con incluso un pequeño aumento de la temperatura. Los equipos que contienen PCB's pueden sobrecalentarse y evaporar cantidades significativas, significando una situación de riesgo que puede magnificarse si el ambiente laboral tiene poca ventilación. Por su naturaleza lipofílica, los PCB se pueden absorber a través de la piel al tener contacto con los equipos contaminados, el agua o suelo contaminado. (Yoshimura, 2003)

Las actividades que producen riesgos son:

- Operación de equipos con PCB's (trabajos de energización)
- Limpieza de aisladores
- Temperatura de los transformadores
- Toma de muestra de aceite dieléctrico
- Mantenimiento de equipos eléctricos (transformadores).
- Manipulación de las válvulas de salida de los transformadores.

2.3.9. Tipos de Análisis de PCB's

(Ortiz, 2015) establece que los análisis de PCB se pueden dividir en dos categorías: métodos específicos y no específicos.

2.3.9.1 Métodos específicos

Es un método que se lleva a cabo dentro de un laboratorio químico, acreditado por el INACAL, donde se realiza la identificación y cuantificación de los Bifenilos Policlorados mediante cromatografía de gases (CG), acoplado a un espectrómetro de masas (EM) o a un detector de captura de electrones. Este método analiza sustancias halogenadas y se considera el método confirmatorio de la presencia de PCB's, emitiendo resultados exactos en mg/L o ppm. (Ortiz, 2015).

2.3.9.2 Métodos no específicos

Este método identifica de forma cualitativa los iones de cloro. Estos métodos no específicos incluyen los detectores de PCB's, con pruebas colorimétricas tales como Clor-N-Oil¹⁰ para aceite y Clor-N-Soil para suelo, de marca Dexsil, y análisis con electrodo específico, mediante el uso del equipo analizador L2000DX, también de marca Dexsil. Este último método permite la cuantificación de los iones cloruro y su conversión a PCB's. (Ortiz, 2015).

En general, los métodos específicos para PCB's son mucho más precisos que los métodos no específicos, pero son más caros económicamente, toman más tiempo obtener el resultado, para el análisis específico se requiere de personal calificado y se tiene enviar las muestras a analizarse en un laboratorio acreditado. (Ortiz, 2015).

2.3.10. Tecnologías más conocidas para el tratamiento de PCB's

2.3.10.1 Incineración a Alta temperatura

El tratamiento por incineración para los PCB's, no se encuentra en el Perú, a pesar que existen más de 50 instalaciones para destrucción de residuos con PCB's, casi la mitad se encuentra en Europa y en otros países como: Francia, Estados Unidos, Alemania, entre otros. Las condiciones de combustión son cuidadosamente monitoreadas, para asegurar el tratamiento al 99.9999% de estos compuestos, minimizando la generación de dioxinas y furanos. La química de la incineración es controlada por la oxidación a extremas temperaturas de los compuestos orgánicos, para producir el dióxido de carbono y agua. Las sustancias inorgánicas tales como sales, ácidos y compuestos metálicos pueden ser también producidas como resultado de estos lavados. Considerando que los procesos de incineración para los residuos peligrosos, son muy complejos y demandan de un control cinético de las reacciones químicas, bajo unas condiciones muy controladas. (Perez, 2009)

¹⁰ Cada Kit de detección de PCB's, contiene todo lo necesario para realizar la prueba en menos de 10 minutos. Todos los agentes reactantes están contenidos en ampollas con las cantidades precisas para obtener resultados al instante.

Los incineradores para los desechos peligrosos, poseen de una cámara principal o considerada como cámara primaria, para quemar los PCB's y otros COP's. Esta cámara alcanza altas temperaturas, superiores a 1 200 °C con máximas turbulencias para el exceso de oxígeno. Después de este proceso se continúa hacia una cámara secundaria, usada para ampliar el tiempo de residencia, para un máximo de destrucción del material y su oxidación térmica en gases y sólidos no inflamables, aunque es un tratamiento eficiente, pero su operación es muy costosa. (Soto Amezquita, 2005)

2.3.10.2 Declorinación (reducción con metales alcalinos)

Es un método más conocido y utilizado, consiste en la reacción entre el fluido dieléctrico y un metal alcalino, que puede ser sodio, litio o potasio orgánicamente ligado. El reactivo metálico reacciona con los átomos de cloro de los PCB's generando sales de cloruro y otros productos residuales no halogenados. Las sales inorgánicas, pueden ser removidas de la fracción orgánica, por la filtración y el uso de las tierras filtrantes en el filtro prensa. (Ortiz, 2015).

Esta tecnología es capaz de deshalogenizar los PCB's presentes en el aceite y las partes internas del transformador, en sitio, de modo continuo y en un circuito cerrado, con la circulación de aceite caliente, con una eficiencia del 99.9%, sin requerir el drenado. (Ortiz, 2015).

2.3.10.3 Reducción Química en Fase Gaseosa (RQFG)

El principio de la tecnología RQFG, es la reducción termoquímica de compuestos orgánicos, a temperaturas de 850 °C y a presiones bajas, el hidrógeno reacciona con los compuestos orgánicos clorados para producir principalmente metano y cloruro de hidróxido. Todos los PCB's del Oeste de Australia fueron tratados con esta tecnología en el año 2000, considerándose un tratamiento costoso. (Ortiz, 2015).

2.3.11 Productos que reemplazarán los fluidos con PCB's

Existen muchos productos que reemplazaron a los fluidos dieléctricos con PCB's, la elección del producto dependerá no sólo de las características del aceite, sino también de prácticas locales y regionales.

A continuación, se mencionan los diferentes tipos de líquidos sustitutos que podrían emplearse:

2.3.11.1 Aceites Minerales

Considerados aceites convencionales, que han sido utilizados en transformadores. La diferencia con los aceites de PCB's es su inflamabilidad. Sin embargo, después de analizar los riesgos de incendio en algunas aplicaciones de transformadores, se podría recomendar el uso de este fluido de mayor inflamabilidad. (PNUMA Productos Químicos, 2002)

2.3.11.2 Fluido de Silicona

Los fluidos de silicona no contienen cloro; son combinaciones organosilícicos. Utilizados en nuevos transformadores que se fabrican en Europa y los Estados Unidos. Sus propiedades determinan la forma como deben usarse en caso de rellenado:

- Sensibles en agua, es importante tenerlo en cuenta al utilizarlos. Su contenido máximo de agua es de 50 ppm.
- Debido a la sensibilidad al agua, el transformador debe estar bien sellado.
- Es necesario que el transformador opere a menor potencia.
- Su coeficiente de expansión térmica es mayor que el del aceite con PCB's, y ello requiere cambios al tanque para que el aceite del transformador se expanda sin que dañe su estructura.
- Difícil eliminar un aceite de silicona contaminado con PCB's que el aceite de PCB. Esto que debido a su incineración se forma sílice (óxido de silicio en polvo) alrededor de los combustores, lo que ocasiona problemas en el lavado de gas.

- Cambiar los conmutadores de tomas montados en el transformador, cuando se utilizan en transformadores nuevos, el diseño del transformador puede que prevea estas propiedades diferentes de los aceites con PCB's. En cambio, si se utilizan como reemplazo en un transformador usado, es necesario modificar el transformador para que se adapte a estas propiedades diferentes, sobre todo en lo referente al coeficiente de expansión térmica. Esto resulta más difícil y más caro.
- No combinar con aceites normales para transformadores. Estos fluidos no son compatibles. (PNUMA Productos Químicos, 2002)

2.3.11.3 Aceites de éster sintético

Sustitutos reconocidos y con buenas propiedades. Fluidos con ventajas técnicas respecto a otros productos:

- No es necesario aplicar un factor de reducción de potencia después de la conversión. Buenas propiedades eléctricas.
- Permiten renovar los transformadores con aceite y clasificarlos como menos inflamables.
- La desventaja de los aceites de éster sintético es que son más costosos. (PNUMA Productos Químicos, 2002)

2.3.11.4 Fluidos de origen vegetal

Los ésteres naturales son diferentes a los aceites minerales. Los aceites minerales son derivados del petróleo; mientras que los ésteres naturales son productos agrícolas, de fuentes renovables. Los productos derivados del petróleo son tan vitales hoy para el mundo que es difícil imaginarse sin ellos (plásticos, farmacéuticos o químicos orgánicos). Los ésteres naturales son productos disponibles principalmente de semillas y usados comúnmente para propósitos comestibles. En los últimos años se ha incrementado su uso en aplicaciones industriales “Amaah, Islam y Chami, 2005”. (Navas, Cadavid Ramírez, & Echeverry Ibarra, 2012)

Viendo la manera de la necesidad de estos fluidos naturales para los transformadores, sería necesario producir en masa estos fluidos, de cantidad suficiente de cultivos para satisfacer también la alimentación, esto podría ser

beneficioso, para traer nuevos ingresos a la economía local y a la de los agricultores “Del Fiacco, Greven y Bingenheimer, 2011”. (Navas, Cadavid Ramírez, & Echeverry Ibarra, 2012)

2.3.12 Descripción del Material Sólido después del Tratamiento

Para determinar a detalle la descripción de todos los materiales sólidos que se produjeron del tratamiento, se debió de realizar un análisis específico a los residuos sólidos generados, sin embargo, el presente proyecto priorizo los análisis para la descripción del tratamiento por decoloración y la gestión de los bifenilos policlorados (PCB's), considerándose a todos los materiales sólidos generados como *residuos peligrosos sin presencia de PCB's*. Sin embargo, de acuerdo a la teoría revisada se describen los productos sólidos que se generan del tratamiento por decoloración de los PCB's.

2.3.12.1 Cloruro de sodio

Es el principal producto que se genera del proceso de la decoloración, se forma debido a la reacción del ion sodio con el cloruro enlazado a la molécula del bifenilo, resultando en sal y un compuesto más estable, esta sustancia se encuentra mezclada con presencia de aceites descontaminados, la cual después de concluida el proceso del equipo reactor pasa a las tolvas de decantación. (Wachong Solano, 2015)

2.3.12.2. Residuos no saponificables

Según “Moreda, Pérez, y Cert, 2004”. (Wachong Solano, 2015); denomina materiales no saponificables a una mezcla de residuos denominados no volátiles, que corresponden a distintas familias químicas. Es un residuo generado por la saponificación de los ésteres de ácidos grasos, de la reacción secundaria que sucede juntamente a la decoloración. La composición exacta de la materia no saponificable depende del hidrocarburo que sufre la saponificación por lo que es complicado describir su estructura específica, dentro de estas categorías se encuentran los contaminantes como polvo, partículas metálicas que provienen del núcleo y denominados también como “lodos” conformados por la oxidación.

2.3.12.3 Hidróxido de sodio

La formación del hidróxido de sodio a partir del sodio metálico, se realiza por la presencia de agua en el sistema de reacción, según la siguiente ecuación:



Como se observa, un producto importante a considerar es el hidrógeno gaseoso, el cual debe ser eliminado en el proceso, para evitar una explosión. Por esta razón es importante medir la cantidad de sodio que se utiliza para el tratamiento y la concentración de PCB's en el aceite, para permitir la menor cantidad de agua y reducir la producción de hidrógeno. (Wachong Solano, 2015)

2.3.12.4 Ésteres de ácidos grasos

Son compuestos que cuentan con un enlace simple de oxígeno y carbono, donde el carbono pertenece a una larga cadena hidrocarbonada a razón del ácido graso con la con la configuración de carbonos. Se define como ácido graso a un grupo carboxílico enlazado a una cadena de hidrocarburos. (Wachong Solano, 2015)

2.3.12.5 Sodio saponificado

Considerado como sales de sodio, son compuestos formados después de los ésteres de ácidos grasos, los cuales sufren una reacción de hidrólisis alcalina con el sodio metálico como base. (Wachong Solano, 2015)

2.3.12.6 Asfaltos y alquitranes

Según “Michalica, Kazatchkov, Stastna y Zanzotto, 2008”. (Wachong Solano, 2015), define que los asfaltos son una mezcla compuesta de hidrocarburos y no tienen una composición química definida a estos. A grandes rasgos conforman el 10% de hidrocarburos saturados, 43% de aromáticos nafténicos, 34% aromáticos polares y 13% de asfaltenos.

El alquitrán tiene composición química similar a la del asfalto, el alquitrán es una mezcla compleja de hidrocarburos aromáticos policíclicos, fenoles y compuestos heterocíclicos con oxígeno, nitrógeno, azufre y oxígeno dentro de su molécula. “Agencia Estadounidense para sustancias tóxicas y registro de enfermedades, 2011”. (Wachong Solano, 2015)

2.4. Marco Legal

2.4.1. Normativas Internacionales

Los trabajos para la eliminación de los PCB's iniciaron en 1972, mediante el acuerdo entre varios países, para evitar el uso de los PCB's. Continuando en esta labor, los países desarrollados exigieron la prohibición de su fabricación, usos, importación y venta de los PCB's, aprobándose ese mismo año, La Ley sobre Dictaminación y Fabricación de Sustancias Químicas, que prohibió la fabricación, importación y utilización de los PCB's. (Programa de la Naciones Unidas para el Medio Ambiente [PNUMA], 2004)

La Declaración de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Ambiente Humano en 1972, fue la primera respuesta internacional a estas iniciativas, realizándose en Estocolmo Suecia, donde contempla el manejo adecuado de los desechos peligrosos y promulga acciones para preservar y mejorar el ambiente humano. (Programa de la Naciones Unidas para el Medio Ambiente [PNUMA], 2004)

La Organización Mundial de la Salud (OMS) en 1976, también se pronuncia sobre la prohibición de la fabricación de los PCB's, su comercialización y uso a nivel mundial. La ONU en 1978, exige la eliminación de los PCB's mediante el método de incineración a altas temperaturas. Los principales convenios internacionales en referencia al manejo y gestión de residuos peligrosos son: el Convenio de Basilea y el Convenio de Estocolmo. (Programa de la Naciones Unidas para el Medio Ambiente [PNUMA], 2004).

2.4.1.1 Convenio de Basilea

Contando siempre con el auspicio de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), a finales de 1980 se inició con el proyecto del Convenio de Basilea, aprobada en 1989 pero comenzó con fuerza en 1992. El convenio nace por la necesidad de controlar los movimientos transfronterizos y la eliminación de los desechos peligrosos y otros desechos. (PNUMA, 2014).

La creación de este convenio se crea, debido a los incidentes provocados por los buques Katrin y Pelicano, que navegaban de puerto en puerto buscando descargar sus desechos tóxicos, producidos por países desarrollados, en donde sus obligaciones ambientales eran estrictas y costosas, así que vieron la mejor idea de descargar sus desechos tóxicos en los países menos desarrollados principalmente África, Europa Oriental y otras regiones, donde se descargaban sin la aplicación de ningún tipo de control, provocando serios problemas de salud hasta muertes de personas y contaminación de los principales recursos como agua, suelo y aire . (PNUMA, 2014).

Este convenio en la actualidad, cuenta con 170 países miembros o partes, funcionando de la siguiente manera:

- Aprobación del “consentimiento fundamentado previo”, que permite el movimiento trasfronterizo de los desechos peligrosos, pero solamente entre los países miembros, considerándose ilícito los envíos realizados sin el consentimiento.
- Para envíos a países que no forman parte del Convenio se lo debe realizar mediante un acuerdo especial.
- El convenio obliga a las partes, el manejo y eliminación de los desechos de una manera ambientalmente segura y racional.

- Los desechos que están regulados bajo este convenio son: desechos biomédicos y de asistencia sanitaria, aceites usados, acumuladores de plomo usados, desechos con COPs, PCB's, etc. Los desechos radiactivos quedan excluidos de este convenio y se someten a otros sistemas de control internacionales. (Acosta, G, 2001)

2.4.1.2 Convenio de Estocolmo

El convenio inicia en base al principio 15 de la Declaración de Río sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo, siendo el objetivo del Convenio, la protección de la salud humana y el medio ambiente, respecto a los compuestos orgánicos persistentes (COPs). Fue firmado por más de 100 países en mayo del 2001, entrando en vigencia el 17 de mayo del 2004. Dentro del grupo de los países firmantes están los países desarrollados excepto los Estados Unidos. En América Latina, muchos países han ratificado el Convenio, así como: Argentina, Bolivia, Brasil, Chile, Colombia, Costa Rica, Ecuador, Guatemala, Honduras, México, Nicaragua, Panamá, Paraguay, Perú, Uruguay y Venezuela. En el convenio se determinan doce sustancias químicas, sobre las cuales se debe emprender las acciones para su eliminación. Las sustancias son muy conocidas como “la docena sucia”, donde se encuentran ocho pesticidas (aldrin, clordano, dieldrin, endrin, heptacloro, mirex, toxafeno o el más famoso de todos, el DDT), dos productos industriales (como el hexaclorobenceno y los policlorobifenilos (PCB's) y dos residuos indeseados de la actividad industrial (como son las dioxinas y los furanos). Dentro de las principales medidas del Convenio de Estocolmo están. (PNUMA, 2009)

- Eliminar las emisiones de los COPs, mediante la prohibición de la producción, exportación, importación y uso de los COPs.
- Sustitución de los COPs por sustancias menos peligrosas, mediante la fomentación de la investigación.

- Sustancias peligrosas que aún no se encuentran en la lista de los COPs, por lo que se debe actualizar esta lista mediante las herramientas tecnológicas y científicas disponibles.
- Gestionar de manera segura y ambientalmente, los desechos contaminados con COPs, además identificar y recuperar los sitios contaminados con COPs.
- Realizar campañas de educación, sensibilización e intercambio de información para que los ciudadanos estén conscientes de los riesgos y problemas que acarrearán los COPs, tanto para la salud como para el medio ambiente. (PNUMA, 2009)

2.4.1.3 Convenio de Rotterdam

Convenio de Rotterdam tiene como objetivo, aplicar el Procedimiento para el Consentimiento Fundamentado Previo (CFP), que será aplicable a ciertos plaguicidas y productos químicos peligrosos, con fines para su comercio internacional y promover la responsabilidad compartida con el fin de proteger la salud humana y el medio ambiente, frente a posibles daños y contribuir a su uso ambientalmente racional y mejorando el intercambio de información acerca de las características, estableciendo un proceso nacional de adopción de decisiones sobre su importación y exportación y difundiendo esas decisiones a las Partes. El procedimiento de CFP, es un medio de obtener oficialmente y difundir las decisiones de los países importadores respecto de si desea recibir futuros envíos de determinado producto químico y de velar por la aplicación de esas decisiones por parte de los países exportadores. (PNUMA, 2008)

2.4.2. Normativa Nacional

La normativa nacional en lo que respecta en relación al manejo de los bifenilos policlorados (PCB's), inicio con la firma del Convenio de Estocolmo sobre los

COPs, el 23 de mayo del 2001, y lo ratificó mediante el Decreto Supremo N° 067-2005-RE el 14 de setiembre del 2005, las instituciones como el Ministerio de Salud y el Ministerio de Agricultura fueron nombrados estaciones focales para el desarrollo del Plan Nacional de Aplicación del convenio de Estocolmo sobre COPs. (DIGESA, 2010)

Al cumplimiento al Plan, Perú avanzado en normativas generales, ya que hasta momento el Perú no cuenta con una normativa específica aprobada, para la gestión de los bifenilos policlorados, encontrándose esta normativa específica en publicación en el portal del Ministerio de Salud para su respectiva aprobación. (Ministerio de Salud, 2018)

A continuación, se describen las especificaciones a adoptar respecto al manejo de los bifenilos policlorados en las siguientes normativas nacionales:

Mediante el Decreto Supremo N° 014-2019-EM; el día 07/07/2019, se aprobó el Reglamento para la Protección Ambiental en las Actividades Eléctricas, en donde

En el Artículo N° 85, hace referencia al Control de Bifenilos Policlorados, donde El Titular no podrá utilizar sustancias peligrosas sin contar con los procedimientos que aseguren su manejo adecuado y seguro. Está prohibida la importación, comercialización, distribución del uso de sustancias que contengan Bifenilos Policlorados (PCB's); se debe evitar la contaminación de fluidos, residuos o instalaciones con este componente. También el Titular deberá elaborar un plan que contenga la identificación, inventario y eliminación progresiva de sustancias con PCB's teniendo en cuenta las normas vigentes sobre la materia. El Titular está obligado realizar la disposición final o descontaminación de los fluidos, residuos o instalaciones que contengan PCB's de acuerdo a un Plan de Descontaminación, con la finalidad de reducir el riesgo de daños al ambiente. El plazo para la elaboración del inventario y eliminación de PCB's en equipos, residuos e instalaciones será establecido por la entidad competente. (Ministerio de Energía y Minas, 2019)

Mediante la Resolución Ministerial N° 683-2018/MINSA; el día 20/07/2018 se realizó la publicación del proyecto de Reglamento Técnico para la Gestión Sanitaria

y Ambiental de los bifenilos policlorados, en el Portal Institucional del Ministerio de Salud, aprobado este reglamento fortalecerá la obligación para aquellos propietarios de equipos con contenido de PCB's, realicen una adecuada gestión de los Bifenilos Policlorados. (Ministerio de Salud, 2018).

Decreto Supremo N° 067-2005-RE (10/08/05), ratificación del Convenio de Estocolmo sobre los COP's; estableciendo que los países que forman parte de este convenio, deben adoptar las medidas para eliminar la existencias y residuos con PCB's. (Ministerio de Salud - DIGESA, 2017).

Resolución Legislativa N° 26234 (19/10/93), aprobación del Convenio de Basilea respecto al movimiento transfronterizo de residuos peligrosos; En los Anexos I y IV categorizan a los PCB's como desechos que hay que controlar y las operaciones para la eliminación de los PCB's, respectivamente. (Ministerio de Salud, DIGESA, 2017).

Ley General del Ambiente N° 28611 (15/10/2005), en el Art. 83° que especifica sobre las medidas de control, para materiales y sustancias peligrosas, que toda empresa debe adoptar controles para el manejo de los materiales y sustancias peligrosas intrínsecas a sus actividades, debiendo prevenir, controlar, mitigar, los impactos ambientales negativos que generen, y que el Estado adopte medidas normativas, de controles, incentivos y sanciones, para asegurar el uso, manipulación y manejo adecuado de los materiales y sustancias peligrosas, cualquiera sea su origen, estado o destino, a fin de prevenir riesgos y daños sobre la salud de las personas y del ambiente. (Ministerio del Ambiente, 2005).

Ley General de Salud N° 26842 (20/07/97), el Capítulo VII “De la higiene y seguridad en los Ambientes de Trabajo”, en los artículos 100° al 102°; que quienes administren actividades de extracción, producción, transporte y comercio de bienes y servicios, tienen la responsabilidad de implementar medidas de control necesarias para garantizar la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores y terceras personas en sus ambientes de trabajo. (Ministerio de Salud, 1997).

Reglamento del Decreto Legislativo N°1278, Decreto Legislativo que aprueba la ley de gestión Integral de Residuos sólidos, mediante el Decreto Supremo N°014-

2017-MINAM, en el sub capítulo 3. Art.62 Procesos, métodos o técnicas de tratamiento de residuos sólidos. Dichos procesos, métodos o técnicas pueden ser realizados por el generador a interior de sus instalaciones, siempre que estén contemplados dentro de su Instrumento de Gestión Ambiental (IGA). En este supuesto, los generadores no requieren contar con Registro de Empresas operadoras de residuos sólidos (EO-RS). (MINAM, 2017).

Decreto Supremo N° 040-2014-EM (12/11/2014) “Reglamento de Protección y Gestión Ambiental para las Actividades de Explotación, Beneficio, Labor General, Transporte y Almacenamiento Minero”; En la tercera disposición complementaria considera la “Declaración de bifenilos policlorados”, establece que Los titulares mineros que almacenen o utilicen aceites dieléctricos con contenidos de Bifenilos Policlorados (PCB), deben declarar su existencia, y reportar su plan de eliminación y volumen ante la DGAAM, en coordinación con el OEFA se aprobarán un formato de presentación de dicha información. (MEM, 2014).

Decreto Supremo N° 29-94-EM (07/06/1994) “Reglamento de Protección Ambiental en las Actividades Eléctricas”; en el Anexo N° 2 existe obligatoriedad de declarar los materiales que contienen PCB, indicando cantidades y otras características, igual que la disposición final efectuada, todo esto como parte del Informe sobre la generación de emisiones y vertimiento de residuos de las actividades de la energía eléctrica. (Ministerio de Energía y Minas, 1994).

Decreto Supremo N° 021-2008-MTC “Reglamento Nacional de Transporte Terrestre de Materiales y Residuos Peligrosos”; regula el transporte de residuos y materiales peligrosos, que incluye los PCB. (Ministerio de transportes y comunicación, 2008).

Decreto Supremo 002-2008-MINAM (30.07.2008), modificado por el Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM (30/12/2015); Aprueba los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del Agua (ECA), para las categorías siguientes:

Categoría 1A “Agua para consumo humano” (PCB´s mg/L: A1 0,0005; A2 0,0005 y A3 Retirado).

Categoría 2 “Agua de mar y agua continental” (PCB’s mg/L: Sub Categoría 1(C1) 0,00003; Sub categoría 2 (C2) 0,00003; Sub Categoría 3(C3) 0,0003 y Sub Categoría (C4) 0,000014).

Categoría 3 “Riego de vegetales y bebida de animales” (PCB’s mg/L: Riego de vegetales 0,04 y bebida de animales 0,045).

Categoría 4 “Laguna, Lagos, Ríos y Ecosistemas Marino Costeras (PCB’s mg/ L: Laguna y lagos 0,000014; Ríos de Costa, Sierra y Selva 0,0000014; ecosistemas marino costeras: 0,00003). (MINAM, 2015).

Decreto Supremo 002-2013-MINAM (25.03.2013), y su Fe de erratas del 26.03.2013; establece los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Suelo, considerando lo siguiente:

- a) Suelo Agrícola: 0,5 mg/kg MS de PCB.
- b) Suelo residencial / parques: 1.3 mg/kg MS de PCB.
- c) Suelo comercial/ industrial / extractivos: 33 mg/kg MS de PCB. (MINAM, 2014).

Aprueban Disposiciones Complementarias para la aplicación de los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo, mediante Decreto Supremo N° 002-2014-MINAM (24/03/2014); para el cumplimiento gradual de los ECA Suelo. (MINAM, 2014)

2.4.3 Acciones y proyecciones para estandarización en el manejo de PCB’s

El Perú en lo que respecta al manejo de PCB’s, dirigido a empresas públicas y privadas, se viene ejecutando a través del Ministerio de salud, esperando fortalecer las capacidades para la gestión y manejo de los bifenilos policlorados y paralelamente cumplir con el compromiso del Protocolo de Estocolmo, incentivando también a empresas recicladoras de aceites dieléctricos, con riesgos de contener PCB’s a que consideren aspectos técnicos y legales para que exista una demanda y se puedan ofertar servicios de tratamiento y disposición de PCB’s a empresas que aún mantienen equipos con PCB’s. (MINSAL, 2017)

En el Proyecto «Manejo y Disposición Ambientalmente Racional de PCB en el Perú» -GF/ PER/10/001 se han desarrollado con éxito las siguientes actividades:

- Capacitación en el Manejo de PCB's y sus efectos en la salud humana y el ambiente, realizada a 2030 profesionales en 12 regiones del país (Lambayeque, Cajamarca, Amazonas, Loreto, San Martín, Lima, Junín, Cusco, Ica, Arequipa, Puno y Tacna).
- Elaboración del proyecto de norma Reglamento para la Gestión Sanitaria y Ambiental de los Bifenilos Policlorados, el cual regulará la gestión y manejo de las existencias y aceites con PCB. (Publicado en el portal del Ministerio de Salud para su aprobación), con el cual se espera fortalecer la gestión de los PCB's, con obligación para todas las empresas públicas como privadas.
- Orientación y capacitación en la elaboración de Planes de Gestión de PCB; Principalmente en ciudades fuera de Lima como Puno, Chiclayo y Cusco.
- Se realizó el inventario y etiquetado de 15 912 equipos eléctricos (de una proyección de 10 000), que pertenecen a 30 empresas (17 empresas del subsector electricidad, 7 instalaciones de CORPAC, 3 del sector industrial, 2 del sector minero y 1 empresa del sector de saneamiento de agua potable).
- En el marco del Proyecto se han descontaminado 168 equipos (101,3 toneladas) y exportado 96 equipos (41,1 toneladas), los cuales fueron identificados, analizados su contenido en busca de PCB's, etiquetados y preparados para su traslado a la planta de tratamiento por dechlorinación, o para ser exportados para su incineración.
- Se ha propiciado la construcción de una infraestructura para la instalación de una Planta Compacta de Declorinación, y se exportarán los residuos con PCB de alta concentración para ser incinerados.
- Se ha procedido a la entrega de etiquetas para equipos descontaminados, en las regiones capacitadas.
- El Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA) ha comenzado las supervisiones, llegando a identificar lugares con manejo

inadecuado de existencias. Sancionando a los responsables de los impactos generados.

- Se ha convocado a los profesionales de la salud de todo el país a capacitaciones demostrativas realizadas en Lima, como las de laboratorio o tratamiento, entre otras, con una buena participación. (MINSA, 2017)

2.5. Marco Conceptual

Aceite dieléctrico: Es aquel aceite usado como aislante líquido, de aplicación en los transformadores eléctricos, para evitar conducir el calor y la electricidad.

Askareles: Nombre genérico que identifica a los materiales sintéticos aislantes, encontrados en los transformadores de tensión.

Bioacumulación: Proceso en donde una sustancia, se puede acumularse con el tiempo en un organismo vivo.

Biodegradable: Descomposición por acción de agentes biológicos bajo condiciones naturales.

Carcinogenicidad: Capacidad de algunas sustancias químicas, que inducen al cáncer o algún tumor.

Cloracné: Erupción acneiforme a causa de la exposición directa a altas concentraciones de sustancias químicas cloradas.

Definición de congéneres: Adjetivo calificativo del mismo género u origen, o surgida de una idéntica derivación.

Descontaminación: Eliminación de PCB's por algún tipo de tratamiento, para reducir la concentración de menos de 50 ppm, según los LMP.

Disruptor endocrino: Sustancia química que podría alterar el equilibrio hormonal del sistema endocrino de un organismo.

Existencia con PCB's: Equipos y componentes que contengan PCB's a una concentración mayor o igual a 50 ppm.

Fluido dieléctrico: Fluido con resistencia a una gradiente potencial eléctrica lo que le tener propiedades aislantes.

Incineración: Tratamiento de para la descontaminación de restos de PCB's, consiste en la oxidación química para la combustión de los residuos, realizada en instalaciones autorizadas, con la aplicación de todas las medidas de control.

Partes por millón (ppm): Unidad de medida de una concentración que hay por cada millón de unidades del conjunto.

Transformador: Equipo fabricado para aumentar o reducir la tensión eléctrica.

CAPÍTULO III. METODOLOGÍA

3.1. Tipo y Diseño de Investigación

El presente trabajo de investigación, en consideración a las hipótesis formuladas y los objetivos de la investigación, ha sido enmarcada dentro del tipo explicativo - descriptivo, y el diseño es de investigación experimental.

La metodología planteada, tiene por objeto describir e indicar a modo específico, todos los pasos seguidos para cumplir con el objetivo principal de este trabajo de investigación, “Tratamiento por Declorinación in situ de los PCB’s, para control de riesgos de salud de los trabajadores y el medio ambiente en el Sector minero del Departamento de Pasco”, y poder dejar esta experiencia como un modelo de gestión para aquellas empresas propietarios de transformadores eléctricos con aceites dieléctricos con PCB’s en el Perú.

3.2 Materiales

3.2.1 Materiales para el Inventario de transformadores

- Formulario de Campo para la identificación de los transformadores, en donde se especifican los datos importantes de las placas de cada transformador y el modelo de la ficha se encuentra en el (Anexo 01).
- Plumón indeleble.

En la figura 12, se muestra un modelo de placa del transformador que registra datos importantes como: Tipo de aceite, fabricante, año de fabricación, cantidad, peso, serie, potencia, etc.



Figura 12. Modelo de placa del transformador.
Fuente. Elaboración propia.

3.2.2 Materiales para toma de muestras de aceite

- Frasco de 10 ml de preferencia color ámbar.
- Guantes de Nitrilo, bandejas y etiquetas.

En la Figura 13, se observan los materiales para la toma de muestras para aceites dieléctricos.



Figura 13. Materiales para toma de muestras.
Fuente. Elaboración propia

3.2.3 Materiales para descarte de equipos sin PCB's

- Detectores para PCB's, llamados Clor-N-Oil de la marca DEXSIL (ver Figura 14).
- Trapos absorbentes.



Figura 14. Kit Colorimétrico Clor-N-Oil 50.
Fuente. Elaboración propia.

3.2.4 Materiales para proceso de declorinación

- Mangueras de polietileno de 1 pulgada.
- Bandejas
- Trapos absorbentes
- Salchichas absorbentes.
- Equipos de protección personal (Mameluco descartable, guantes de nitrilo, respirador y zapatos de seguridad).
- Sodio metálico.

3.2.5 Materiales para proceso de regeneración

- Tierra filtrante para el filtro de prensas.
- Trapos absorbentes.

- Materiales para atención de derrames de hidrocarburos.

3.3 Equipos

Para el tratamiento por dechlorinación y la regeneración de los aceites dieléctricos con PCB's, se utilizaron equipos eléctricos especiales:

3.3.1 El equipo Reactor (Equipo de dechlorinación)

Es un equipo especial para realizar el proceso de dechlorinación, siempre en cuando se adicione un producto químico como el Sodio metálico, este equipo trabaja a condiciones de atmósfera modificada, para evitar la formación y salida de gases nocivos hacia el ambiente, consistiendo en un sistema completamente aislado del medio. (Kioshi, s.f.).

El equipo reactor utilizado para el tratamiento, fue de capacidad para 1 500 Litros de aceite, con dimensiones: Altura: 2,10 m; Ancho: 1,20 m; Profundidad: 1,60 m (ver la figura 15). El equipo posee un sistema independiente de control de temperatura, hasta 110 °C. El suministro de energía eléctrica es de 60 KVA¹¹ (Kioshi, s.f.).

¹¹ **KVA** (kilovoltiamperio), se deletrea a menudo como *kabea*, como si se tratara de una sigla, y designa la potencia aparente de un aparato eléctrico de características principalmente inductivas cuando funciona con corriente alterna.

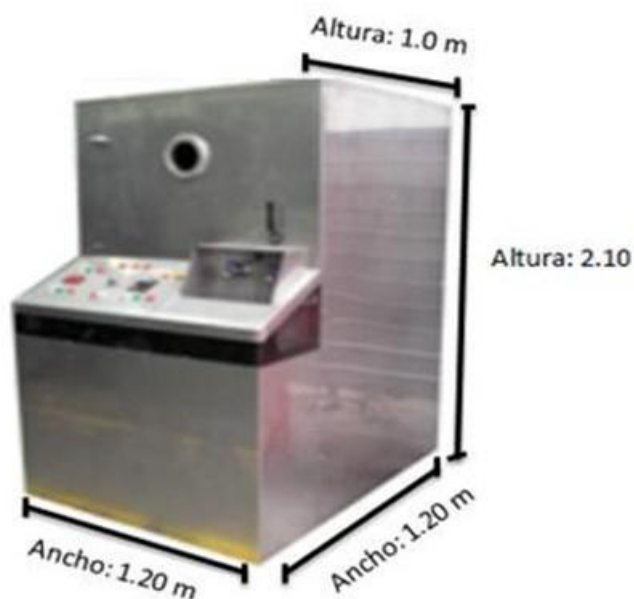


Figura 15. Equipo Reactor.

Fuente. Kioshi s.f

3.3.2 Separadores de sólidos o decantadores

Los separadores de sólidos o conocidos también como decantadores no son equipos mecánicos, son tolvas metálicas de base cónica, que sirven para decantación de impurezas y permiten la eliminación de residuos, como sales inorgánicas generadas por la declorinación, para recuperarlo y reutilizado como aceite aislante (Ver Figura 16).



Figura 16. Separador de sólidos.

Fuente. Elaboración propia

3.3.3 Equipo filtro prensa

El filtro es de tipo prensa o columna, que a través de tierras filtrantes, se optimizan las propiedades eléctricas del aceite, para la recuperación sus características aislantes de los aceites. En esta etapa se eliminan los componentes polares que afectan negativamente la performance del aislante (ver Figura 17). (Kioshi S.A, 1998).



Figura 17. Equipo Filtro Prensa.
Fuente. Elaboración propia

3.3.4 Equipo de secado

Este equipo cumple la función de filtrado, desgasificado y deshumificación. Equipo que sirve para el retiro de impurezas que se encuentran en los aceites tratados (ver Figura 18). (Kioshi S.A, 1998).



Figura 18. Equipo de Secado
Fuente. Elaboración propia.

3.4 Unidad de Análisis y Población de estudio

El sector minero en el Departamento de Pasco, siempre represento un sector importante para la economía de la población, sin embargo, para lograr el desarrollo de la minería se utilizaron equipos eléctricos que sirven y sirvieron como generadores de energía eléctrica. Determinando como la población de estudio a los equipos eléctricos de una de las empresas mineras con muchos años de antigüedad, constituida desde el año 1936, como es Compañía Minera Atacocha S.A.A, ubicada geográficamente en el Distrito de San Francisco de Asís de Yarusyacán del departamento de Pasco, por mantener equipos con presencia de PCB's. El tratamiento se llevó a cabo en el mismo lugar de la unidad minera, por eso se considera el tratamiento (in situ). La unidad minera ha implementado un lugar adecuado a pedido de la empresa "KIOSHI S.A.C", con el nombre de "Centro de Operaciones o Planta de tratamiento de aceites con Bifenilos Policlorados (PCB's)". En la Figura 19, se muestra la ubicación geográfica del Departamento de Pasco y la Unidad Minera Atacocha S.A.A.



Figura 19. Ubicación Geográfica del Departamento de Pasco.

Fuente. Elaboración propia con información del INEI (s,f).

El proyecto se ejecutó a través de una alianza estratégica, liderada por el Ministerio del Ambiente, el cual busca cumplir el compromiso del Plan Nacional del Protocolo de Estocolmo, fue un proyecto entre el estado y la empresa privada, para el desarrollo de los planes sólidos para la gestión racional de los PCB's, la alianza consistió de la siguiente manera:

- Compañía Minera Atacocha S.A.A, fue responsable de la implementación del Centro de Operaciones, el cual se designó en la misma unidad minera.
- El Ministerio del Ambiente se responsabilizó por los análisis de laboratorio por cromatografía de gases, aquellos que fueron realizados en la Dirección de General de Salud Ambiental (DIGESA), contando con acreditación del Instituto Nacional de Calidad (INACAL) con registro N° 0268.2014/SNA-INDECOPI y Registro N° LE-080.
- La participación de la empresa KIOSHI (empresa de Argentina), fue de la responsabilidad del traslado de los equipos hacia el centro de operaciones y la operación de los equipos para el desarrollo del tratamiento de los aceites por Declorinación, con la supervisión de la Unidad Minera, responsabilizada por mi persona.

El proyecto se realizó mediante el uso de equipos móviles, en las mismas instalaciones de la empresa (in situ), aquella que contaba con equipos con PCB's, y para evitar la exportación para su tratamiento hacia otros países, donde exista tecnología para el tratamiento de PCB's, que a la vez representaba un riesgo de accidentes por derrames y consideraba un alto costo. (Kioshi, s.f.).

3.5 Implementación del centro de operación

El centro de operaciones es considerado el lugar, donde se ubican los equipos para tratamiento de los aceites con bifenilos policlorados, aquel lugar donde se llevó acabo todo el proceso del tratamiento por declorinación, teniendo las siguientes consideraciones:

3.5.1 Infraestructura

En la Figura 20, se muestra la infraestructura utilizada para el centro de operaciones, considerándose un área total de 207, 66 m², contando con las siguientes especificaciones:

- 2 portones grandes; uno para el ingreso de los equipos y para ingreso de personas.
- Pantallas de iluminación.
- Lugar ventilación e iluminado
- Canales y trampa de aceite.
- Piso pintado con pintura epóxica.



Figura 20. Infraestructura para el Proyecto.
Fuente. Elaboración propia.

3.5.2 Medidas de Seguridad

En la Figura 21 y 22, se observan la implementación de los dispositivos de seguridad y de emergencia en el Centro de Operaciones, considerando los siguientes:

- 4 sensores para humo
- 6 extintores

- 1 botiquín y señalización



Figura 21. Instalación de extintores y botiquín.

Fuente. Elaboración propia



Figura 22. Instalación de detectores de Humo

Fuente. Elaboración propia.

En la Figura 23, se muestra la infraestructura del centro de operaciones donde se llevó a cabo el tratamiento por dechlorinación de los PCB's.



Figura 23. Centro de Operaciones del tratamiento de PCB's

Fuente. Elaboración propia.

En la Figura 24, se muestra el diseño del plano en planta del centro de operaciones, realizado por la consultora "Safety Consulting & Training S.A.C", considerando todos los requerimientos de Seguridad Industrial, Protección de la salud y preservación del medio ambiente a solicitud de la empresa Kioshi. (Safety Consulting & Training S.A.C., 2014)

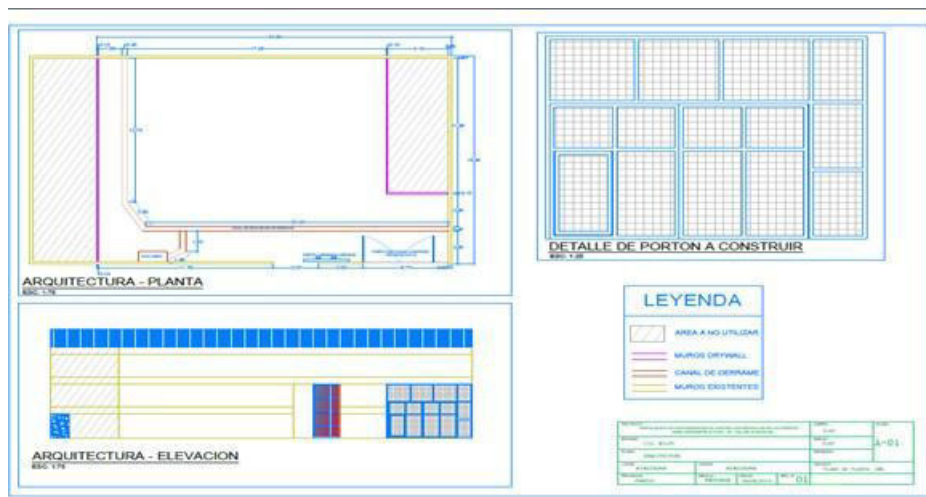


Figura 24. Plano en planta del centro de operaciones.

Fuente. Safety Consulting & Training S.A.C (2014).

3.6 Traslado de Transformadores con PCB's

Concluido la infraestructura del Centro de Operaciones, se procedió hacer el traslado de los 9 transformadores con PCB's mayor a 50 ppm. El traslado de los transformadores, se realizó con una grúa de 5 toneladas, siguiendo las medidas de seguridad con los trabajos de izaje (ver Figura 25).



Figura 25. Vista de los transformadores para su tratamiento

Fuente. Elaboración propia.

3.7 Instalación de Conexión Eléctrica

La instalación eléctrica necesaria para el funcionamiento de los equipos fue de 60 KVA.

3.8 Descripción de trabajo de investigación

En la Figura 26, se muestra el flujograma de la investigación, consistiendo en 7 partes, todo este proceso tardo más de 5 años, en donde fui recopilando datos y registros para llegar al desarrollo del tratamiento, la parte más extensa fue en la elección del tratamiento, ya que en el Perú aún no se realizaba algún tratamiento para la descontaminación de los PCB's, y como única alternativa solo se conocía el tratamiento por incineración, la cual generaba mayor costo, ya que estas tecnologías solo se realizaban en países de Europa y Francia. En busca de alternativas la empresa propietaria de los transformadores con PCB's, se puso en coordinación con el Ministerio del Ambiente, formando una alianza estratégica entre la empresa y el estado peruano, para la realización del proyecto del tratamiento por decoloración, con el objetivo de eliminar los PCB's.

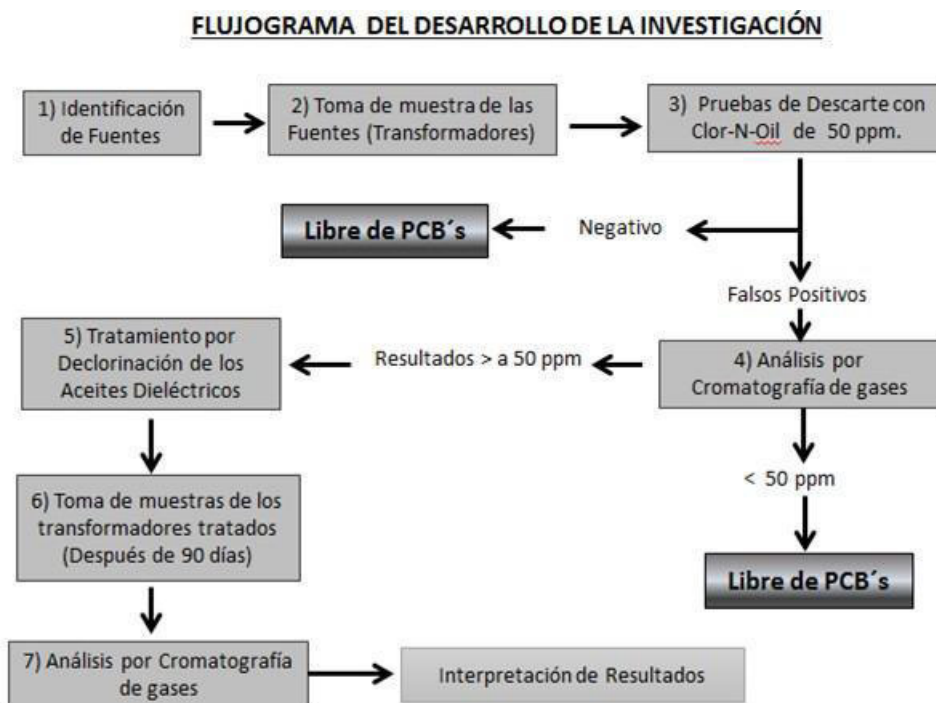


Figura 26. Flujograma de la Investigación.

Fuente: Elaboración propia (2018).

3.8.1 Identificación de las fuentes de PCB's

Esta parte fue el inicio del trabajo de investigación, iniciándose con la identificación de las fuentes de PCB's y determinados por los responsables del área de mantenimiento eléctrico, que los PCB's solo se presentaban en los transformadores eléctricos más antiguos, por ser equipos más comunes en donde se aplicaron los PCB's. Para esto se solicito al área responsable, la relación y ubicación de los transformadores, aquellos que se encontraban en operación y también los transformadores inoperativos, aquellos ubicados en superficie, como en interior mina. La indentificación se realizo tomando los datos de las placas de cada transformador. Para el proyecto se consideraron 42 transformadores de los cuales 32 transformadores se encontraban en operción y 10 transformadores inoperativos y almacenados temporalmente. En la Tabla 5, se muestra la relación de los transformadores considerados para el proyecto.

Tabla 5. Lista de Transformadores identificados para el proyecto

Nº	Lugar	Observaciones
1	SE N° 1 Nv 4850	Santa Bárbara
2	SE N° 1 Nv 4020	
3	SE N°2 Nv 3900	Bocamina
4	Se N°3 Nv 3840	
5	SE N°1 Nv 3780	Bomba Mars
6	SE N°1 Nv 3620	5 esquinas
7	SE N°10 Nv 3600	IESA
8	SE N°2 Nv 3540	
9	SE N°1 Nv 3420	2001
10	SE N°2 Nv 3420	Atacocha
11	SE N°1 Nv 3300	Comedor
12	SE N°4 Nv 3180	500 kVA
13	SE N°1 Nv 3060	
14	SE N° 1 Nv 3020	Bomba Estacionaria
15	SE Atacocha Nv 4000	B 961019 Banco B
16	SE Atacocha Nv 4000	B 961020 Banco B
17	SE N° 1 Nv 3360	Bomba Estacionaria
18	Sub estación Principal	440-220
19	SE N°2 Nv 3420	Atacocha
20	SE Banco A 8638809 Nv 4000	Banco A, sin aceite
21	SE N°1 Nv 3720	
22	SE N°1 Nv 3540	Santa Bárbara
23	SE N°4 Nv 3540	

24	SE N°1 Nv 3420	Bomba Estacionaria
25	SE N°1 Nv 3420	Rampa 7973
26	Bomba estacionaria Nv 3360	440-220
27	Bomba estacionaria Nv 3180	440-220
28	SE N°4 Nv 3180	Comedor 440-220
29	SE N°4 Nv 3180	
30	SE N°1 NV 3360	Serie N°2 Bomba estacionaria N°2
31	SE Atacocha	Banco C S/N
32	San Felipe 1	24 ^a
33	SE Atacocha Nv 4000	S/N Banco A
34	SE Chicrín	GA
35	SE N°3 Nv 3540	
36	SE Atacocha Nv 4000 Serie N° 8631051	Banco C
37	SE Atacocha Nv 4000 Serie N° 8631052	Banco C
38	SE Chicrín 8 ^a	
39	SE Chicrín 7 ^a	
40	SE Chicrín 7B	
41	SE Atacocha NV 4000 Serie B 961021	Banco B
42	SE Atacocha Nv 4000 Serie B 8638810	Banco A

Fuente: Área de Mantenimiento de la Unidad de Estudio.

En la Figura 27, se muestra la Identificación de datos de la placa de un transformador en interior mina.



Figura 27. Identificación de datos de la placa

Fuente. Elaboración propia.

3.8.2 Muestreo de aceites de los transformadores

El segundo proceso fue el muestreo de los aceites dieléctricos de los 42 transformadores, considerando lo siguiente:

- Para iniciar con el muestreo de los aceites, se debe considerar primero el uso de equipos de protección personal, como el mameluco descartable Tyvex, casco, lentes, guantes de nitrilo, zapatos de seguridad y respirador, para evitar cualquier contacto directo con los PCB's.
- Ubicar en cada transformador, la válvula que presente la mejor condición para el muestreo de los aceites dieléctricos de los transformadores.
- Luego colocar de una bandeja debajo de la válvula, para evitar la llegada de los aceites al piso.
- Abrir lentamente la válvula y dejar correr el aceite por 30 segundos, considerando un flujo menor para eliminar las impurezas, luego proceder con la toma de muestra, colocando el frasco cerca de la boca de la válvula, una cantidad aproximada de 20 ml.
- Rotular el frasco con el código y la ubicación correcta del transformador.
- Concluir la toma de muestras, dejando el lugar limpio y verificando el cierre correcto de las válvulas.

En el Anexo 02, se presenta el procedimiento para el muestreo de aceites dieléctricos de los transformadores.

En las Figuras 28 y 29, se observa cómo realizar el muestreo de los aceites en los transformadores, ubicados en superficie y mina.

Figura 28. Ubicación de la válvula inferior para en muestreo
Fuente. Elaboración propia.



Figura 29. Muestreo de aceites en interior mina.
Fuente. Elaboración propia.

3.8.3 Descarte de PCB's con el detector Clor-N-Oil 50

El tercer paso fue realizar el descarte de los transformadores con y sin presencia de PCB's, usando el detector de PCB's Clor- N-Oil de 50, a los 42 transformadores, cada prueba trae lo necesario para realizar el trabajo en menos de 10 minutos. La prueba se concluye cuando la sustancia detectora toma un color entre el púrpura y el color crema. En la Figura 30, se observa la prueba de descarte, que se realizó para el proyecto, usando el detector para PCB Clor-N-Oil 50.



Figura 30. Proceso de descarte realizado para el proyecto.

Fuente. Elaboración Propia (2013)

Si el resultado registra de **color púrpura**, el aceite contiene menos de 50 ppm de PCB's, significando que está libre de PCB's (ver Figura 31).



Figura 31. Muestra libre de PCB's.

Fuente. Elaboración propia

Si el resultado se registra de **color amarillento a crema**, se tiene como resultado un “falso positivo”, quiere decir que esa muestra contiene PCB's mayor a 50 ppm (ver Figura 32). En el Anexo 03, se describe el procedimiento para del detector Clor-N-Oil 50.

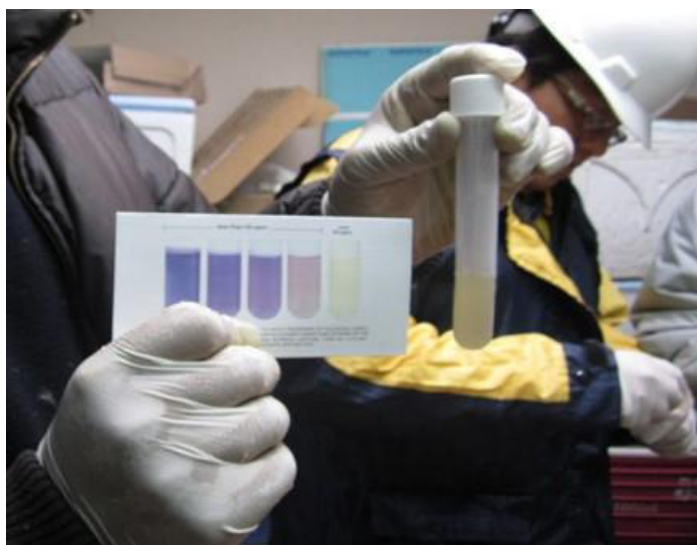


Figura 32. Muestra con presencia de PCB's mayor a 50 ppm

Fuente. Elaboración propia

3.8.4 Análisis por Cromatografía de gases

El cuarto paso fue, obtener resultados exactos de los PCB's presente en las muestras positivas, resultantes de las pruebas con el detector Clor-N-Oil 50, resultando en total 13 muestras como positivos que resultaron de color crema, pero para aplicar algún tratamiento a estos transformadores se debería de conocer la cantidad exacta presentes en cada transformador, para esto se volvieron a muestrear y enviar las 13 muestras al Laboratorio de DIGESA, para su análisis por cromatografía de gases y obtener resultados exactos de PCB's, el laboratorio de DIGESA cuenta con registro N° 0268.2014/SNA-INDECOPI y Registro N° LE-080 por el INACAL.

En la Tabla 6, se muestran la relación de las 13 muestras enviadas para el análisis por cromatografía de gases al laboratorio de DIGESA.

Tabla 6. Transformadores para el análisis por cromatografía de gases.

N°	Área	Ubicación	Fecha de fabricación/	N° Serie	Potencia KVA	Peso Equipo Kg	Fluido		
							Nombre	Peso (Kg)	Peso (Kg)
1	M	SE N° NV 3360	S/N	S/N	500	2085	Aceite Dieléctrico.	961	3046
2	S	SE Atacocha	1952	8638809	500	2085	Aceite Dieléctrico.	961	3046
3	S	San Felipe I	S/N	S/N	500	2085	Aceite Dieléctrico.	961	3046
4	S	SE Ata. Nv 4000	1952	S/N	500	2085	Aceite Dieléctrico.	961	3046
5	S	SE Chicrín	1952	F958033A	561	3335	Aceite Dieléctrico.	516	3851
6	M	SE N°3 Nv 3540	S/N	S/N	500	2085	Aceite Dieléctrico.	961	3046
7	S	SE Atacocha Nv 4000 N°8631051	1952	8631051	500	2040	Aceite Dieléctrico	961	3001
8	S	SE Atacocha Nv 4000 N°8631052	1952	8631052	500	2040	Aceite Dieléctrico.	961	3001
9	S	SE Chicrín 8A	1952	F958033B	561	3335	Aceite Dieléctrico.	516	3851
10	S	SE Chicrín 7A	1952	F958033C	561	3335	Aceite Dieléctrico.	516	3851
11	S	SE Chicrín 7B	1952	F958033C	561	3335	Aceite	516	3851

							Dieléctrico.		
12	S	SE Atacocha NV 4000 Serie B 961021	S/N	S/N	500	2085	Aceite Dieléctrico.	961	3046
13	S	SE Atacocha Nv 4000 Serie B 8638810	1952	8638810	500	2085	Aceite Dieléctrico	961	3046

Fuente. Elaboración propia.

3.8.4.1 Transformadores considerados para el tratamiento

Una vez obtenido los resultados del análisis por cromatografía de gases realizados en el laboratorio acreditado, se observó de las 13 muestras analizadas, 9 muestras resultaron con valores superior a 50 ppm, los cuales fueron considerados para el tratamiento por declorinación de los PCB's. Las otras 4 muestras, presentaron resultados por debajo de los 50 ppm, los cuales no se consideraron para el tratamiento.

En la Tabla 7, se presenta la relación de transformadores con PCB's, considerados para el tratamiento por declorinación.

Tabla 7. Relación de transformadores con PCB's

N°	Ubicación	Fecha de fabricación/	N° Serie	Potencia KVA	Peso Equipo Kg	Fluido		
						Nombre	Peso (Kg)	Peso (Kg)
1	SE Atacocha	1952	8638809	500	2085	Aceite Dieléctrico.	961	3046
2	SE Ata. Nv 4000	1952	S/N	500	2085	Aceite Dieléctrico.	961	3046
3	SE Chicrín	1952	F958033A	561	3335	Aceite Dieléctrico.	516	3851
4	SE Atacocha Nv 4000 N°8631051	1952	8631051	500	2040	Aceite Dieléctrico	961	3001
5	SE Atacocha Nv 4000 N°8631052	1952	8631052	500	2040	Aceite Dieléctrico.	961	3001
6	SE Chicrín 8A	1952	F958033B	561	3335	Aceite Dieléctrico.	516	3851
7	SE Chicrín 7A	1952	F958033C	561	3335	Aceite Dieléctrico.	516	3851
8	SE Chicrín 7B	1952	F958033C	561	3335	Aceite Dieléctrico.	516	3851
9	SE Atacocha Nv 4000 Serie B 8638810	1952	8638810	500	2085	Aceite Dieléctrico	961	3046

Fuente. Reporte de Kioshi (s.f)

3.8.4.2 Método de análisis para determinación de PCB's en aceites dieléctricos

El procedimiento aplicado en el proyecto, para la determinación de los PCB's en los aceites dieléctricos, se realizó mediante el *método DIGESA AO-PE-13(2013). Validado por la referencia ASTM D4059 (2010)*, laboratorio acreditado por el organismo peruano de acreditación INACAL-DA, según la Norma NTP ISO/IEC 17025: 2006, con registro N° LE-080. (Martínez Ynga, 2013)

Este método determina cuantitativamente la concentración de bifenilos policlorados, en aceites dieléctricos por cromatografía de gases. También determinan los PCB's en mezclas como askareles, usadas en aceites dieléctricos. (Martínez Ynga, 2013)

Este método consiste en evaluar los PCB's como arocloros: 1242; 1254 y 1260. A continuación se describen los alcances del límite de detección y cuantificación. (Martínez Ynga, 2013)

Límite de detección:

Aroclor 1242 = 0,48 µg/g;

Aroclor 1254 = 0,52 µg/g

Aroclor 1260 = 0,29 µg/g

Límite de cuantificación:

Aroclor 1242 = 1,2 µg/g

Aroclor 1254 = 1,6 µg/g

Aroclor 1260 = 0,7 µg/g

Rango de trabajo:

Aroclor 1242 : 1,2 a 10 000 µg/g ó ppm

Aroclor 1254 : 1,6 a 10 000 µg/g ó ppm

Aroclor 1260 : 0,7 a 10 000 µg/g ó ppm

Tabla 8. Límite permisible de PCB's en aceites dieléctricos

Fuente	LMP	Organización
Aceite Dieléctrico	50 (ppm) ó (mg/L) ó (ug/g)	EPA (Agencia de Protección Ambiental con siglas en ingles <i>Environmental Protection Agency</i>).

Fuente: Mario Mendoza.

El laboratorio de DIGESA, aplica una metodología válida para la determinación de PCB's en aceites dieléctricos, es equivalente a aquellas aplicadas en otros países y los límites de cuantificación de los arocloros de la metodología de DIGESA, están dentro de los límites internacionalmente propuestos. (Martinez Ynga, 2013)

3.8.5 Descripción del tratamiento de los aceites con PCB's

Esta tecnología fue impulsada por la empresa KIOSHI, una empresa Argentina, la cual viene realizando este tratamiento por más de 10 años, y esta vez presentando su tecnología al Perú, mediante la relación con el Ministerio del Ambiente, para ser aplicada en la unidad de estudio. (Kioshi S.A, 1998)

El tratamiento de los aceites dieléctricos se realizó en 2 partes; el primer proceso fue la Declorinación de los aceites y el segundo proceso fue la regeneración de los aceites.

3.8.5.1 Proceso de declorinación de los aceites con PCB's

Este proceso inicia retirando el aceite dieléctrico con PCB's de cada transformador, haciendo uso de las mangueras de polietileno y una bomba pequeña, para llenar de aceite el reactor hasta la capacidad de 1 500 Litros, el cual será considerado como un Batch o lote, el reactor consta de 2 tanques internamente; un tanque ubicado en la parte central del reactor, el cual posee una resistencia que aporta calor hacia la parte externa del tanque central, por esta

razón el proceso controla 02 registros de temperatura; tanto interna como externa del reactor, los cuales normalmente trabajan hasta 83 °C, el reactor funciona en condiciones estandarizadas de presión y temperatura, una vez caliente el aceite pasa por la válvula de ingreso del vaso de soporte, en donde se ubica el sodio metálico, luego el aceite sale por la válvula de salida del vaso de soporte, regresando al reactor, hasta que se concluya el pase de todo el aceite. Al momento cuando el aceite caliente entra en contacto con el sodio metálico, se genera la “reacción química de Wurtz”, ya que el sodio metálico posee una afinidad con los halógenos (cloro), generando la descomposición de los átomos de cloro presente en las moléculas de los PCB’s y generando nuevos compuestos orgánicos, dejando libre al cloro y formando cloruros inorgánicos, el cual es completamente inerte y no posee propiedades nocivas, existiendo este en gran cantidad en la naturaleza (ver Figura 33).

Una vez tratado el aceite dieléctrico pasa a las tolvas de decantación, sin embargo, el aceite tratado aun cuenta con impurezas (barro, sales inorgánicas, agua, vapores, etc), por eso se considera realizar el segundo proceso de regeneración.

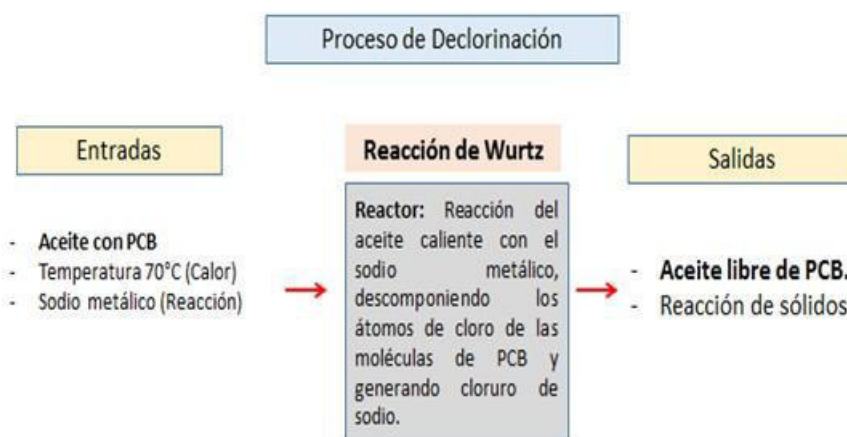


Figura 33. Proceso de decloración de los PCB’s

Fuente. Elaboración propia.

3.8.5.2 Reacciones químicas por el proceso de decloración

En el proceso de declorinación de los PCB's, se genera reacciones químicas por la adición del metal alcalino (sodio metálico), que al contacto con los compuestos orgánicos clorados (aceites dieléctricos con PCB's), se genera la reacción química de Wurtz o síntesis de Wurtz, con el objetivo de obtener compuestos alcanos y sales haloideas, de esta forma se podría reducir o eliminar las moléculas de PCB's de los aceites dieléctricos. En la Figura 34, se muestra la reacción química de Wurtz, que se realiza para la obtención de alcanos y sales haloideas (Cloruro de sodio), cuando se presenta en un halogenuro de alquilo¹², utilizando como metal alcalino el sodio metálico, donde R1 y R2 son radicales orgánicos.

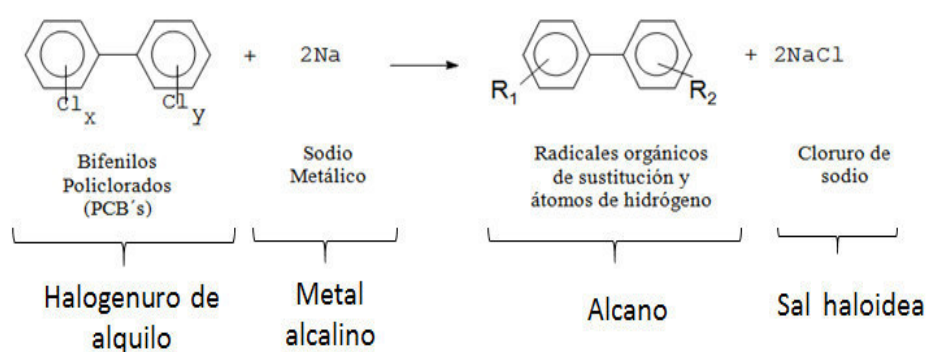


Figura 34. Reacción química de Wurtz.

Fuente. Elaboración propia con las reacciones presentadas por Kioshi.

Para ser más específico en el proceso de declorinación se generan 02 reacciones, de *eliminación* y de *sustitución*, el primero se genera entre el sodio y el halógeno, luego se genera el proceso de *eliminación* del cloro, del radical y se convierte en cloruro de sodio (NaCl) y en un radical orgánico de sustitución y átomos de hidrógeno, enlazándose por los iones y cationes presentes de cada elemento (ver Figura 35).

¹² Halogenuro de alquilo se refiere cuando aquel hidrocarburo que ha perdido un átomo de hidrogeno y ha sido reemplazado por un halógeno (Cloro, Flúor, Iodo, Boro, etc.).

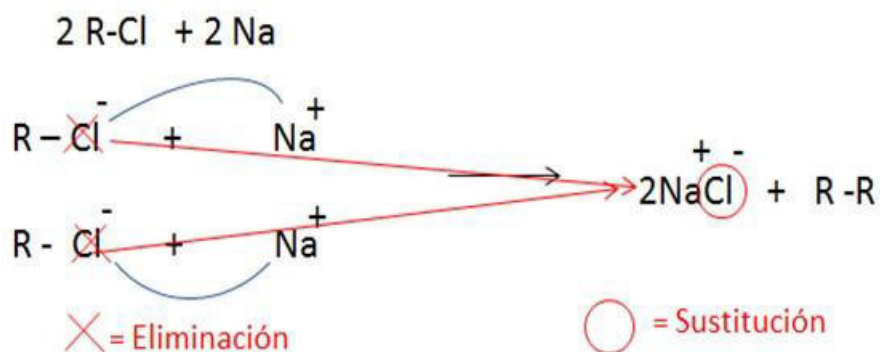


Figura 35. Reacción de eliminación y sustitución del halógeno
Fuente. Elaboración propia.

3.8.5.3 Detalles del Proceso de declorinación

- El tiempo estimado de operación por cada lote, fue de 6 horas diarias.
- El tratamiento lo realizó un personal técnico y un ayudante.

3.8.5.4 Corte por incremento de temperatura del reactor

La máquina posee un sistema independiente de control de temperatura, que hace que se detenga el calentamiento en caso de superarse la temperatura pre establecida de 110 °C. (ver Figura 36). (Kioshi, s.f.).



Figura 36. Botón de parada manual del reactor
Fuente. Elaboración propia.

3.8.5.5 Válvula de escape por sobrepresión

Consiste en una válvula de desplazamiento que funciona al sobrepasar la presión interna hacia la parte externa. (Kioshi, s.f.)

3.8.5.6 Atmósfera inertizada por vacío

El reactor prevé de una bomba de vacío, para la evacuación del espacio superior de aire y evitar presencia del oxígeno, la cual podría generar explosión en mezcla con el hidrógeno a partir de presencia de agua en el aceite a tratar. (Kioshi, s.f.)

3.8.5.7 Sistema de filtrado y recolección total de vapores

Está compuesto por un doble sistema de tratamiento, el primero consiste en el enfriamiento de los vapores a temperatura ambiente, y posteriormente la corriente gaseosa es obligada a atravesar un filtro que contiene carbón activado, el cual retiene la materia orgánica residual que pueda estar presente, como vapor o aerosol. (Kioshi, s.f.)

3.8.5.8 Sistema de contención

El equipo se encuentra en unidad cerrada, conformando en su parte inferior interna una batea de contención. La capacidad de contención supera el volumen máximo de aceite, en caso de contingencia de derrame se asegura el aislamiento dentro del contenedor que actúa como batea. (Kioshi, s.f.)

3.8.6 Proceso de Regeneración de aceites

Luego de concluir con el proceso de declorinación, se continuó con proceso de regeneración, para eliminar restos y sustancias generadas por la declorinación y uso de los aceites en su momento y no fueron eliminados en la centrifugación del proceso anterior. (Wachong Solano, 2015)

El tratamiento de regeneración consiste en restituir las cualidades de los aceites, instalados en un transformador, satisfaciendo las normas IRAM 2026 respecto a las cualidades de un aceite nuevo. (Kioshi, s.f.)

El proceso de regeneración, inicia descargando el aceite tratado de las tolvas de decantación, hacia el filtro prensa que a través del uso de *tierras filtrantes*, se optimizan las propiedades eléctricas del aceite, de tal forma pueda recuperar las características aislantes del aceite, luego el aceite pasa hacia el equipo de secado, ya que el aceite tratado puede contener un residual de humedad, el cual es eliminado en esta etapa, por la acción de temperatura y vacío, porque la humedad afectaría adversamente las características dieléctricas del aceite, concluyendo finalmente con el rellenado de los aceites tratados a los mismos transformadores. (Kioshi, s.f.)

En la Figura 37, se muestra el proceso de declorinación y regeneración del proyecto, donde se observa que el proceso de declorinación es realizado solo por un equipo reactor, mientras que el proceso de regeneración involucra equipos como tolvas, filtro prensa y secadora, para la regeneración de los aceites tratados, en la figura 37, también se muestran los elementos de entrada y salida de cada proceso.

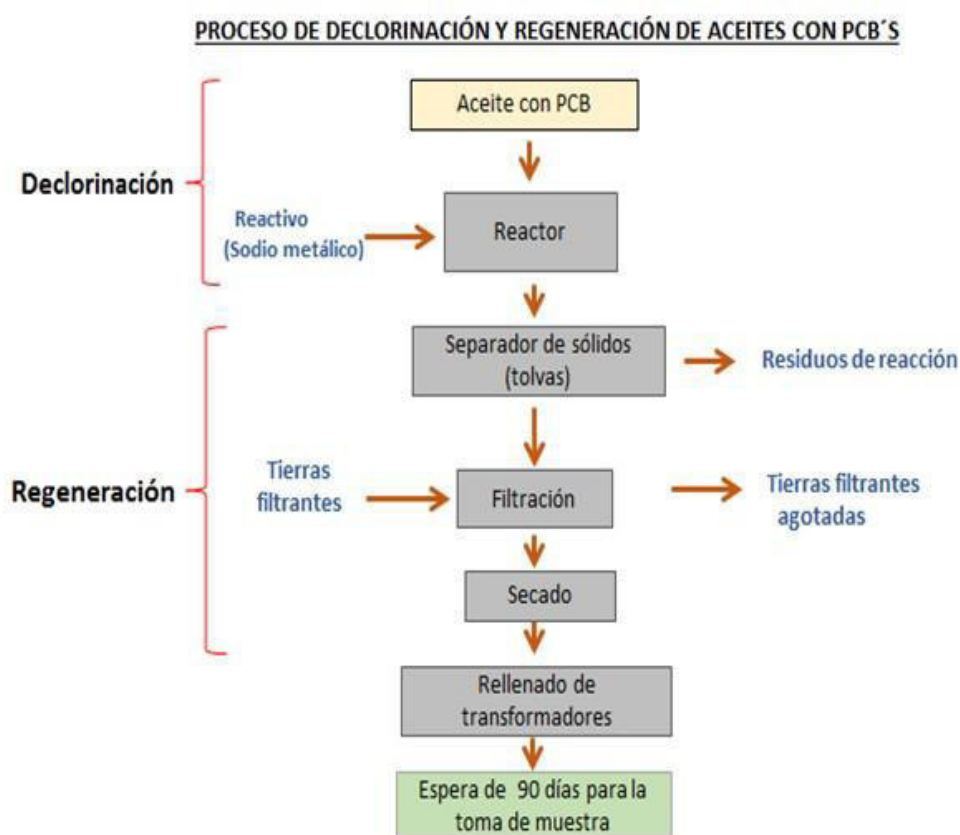


Figura 37. Proceso de declorinación y regeneración del proyecto.
 Fuente. Elaboración propia.

De acuerdo a la garantía presentada por Kioshi, se esperó 90 días calendarios para la toma de muestra de los aceites tratados, esto debido que los compuestos internos de los transformadores se descontaminen. Las muestras fueron enviadas al laboratorio de DIGESA, para los resultados finales.

En la Figura 38, se muestra el proceso de operación de los equipos en serie para el tratamiento por declorinación (reactor) y el proceso de regeneración de los aceites con PCB's (inicia en la tolva de decantación, filtro prensa, secadora y concluyendo con el retrolleado).



Figura 38. Proceso por declorinación y regeneración de los PCB's.

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 39, se observa el proceso de rellenado del aceite hacia los transformadores, esto quiere decir que el aceite tratado y regenerado, regrese a la carcasa del transformador, para esperar los 90 días y realizar la toma de muestras.



Figura 39. Proceso de rellenado de aceite a los transformadores.
Fuente. Elaboración propia.

3.8.6.1 Descripción de las tierras filtrantes

La tierra filtrante, llamada también Tierras Fuller, que según la “Institución denominada British Geological Survey (2006)” (Wachong Solano, 2015). Se definen estas tierras como arcillas sedimentarias con una gran proporción de minerales del grupo de las esmetitas. Debido a la porosidad y condiciones de superficie cristalina, esta posee una capacidad para el intercambio iónico y adsorción química en los aceites.

En caso de los aceites dieléctricos, las tierras fuller son aptas para la eliminación de algunos coloides¹³, ácidos generados durante los procesos de oxidación y lodos que podrían haberse producido, estos residuos ocasionarían que los transformadores fallen de manera definitiva. En la Figura 40, se observa cómo hacer uso de la tierra filtrante en el proceso, este se realiza llenando la bandeja inferior del filtro prensa con el aceite de las tolvas y luego se adiciona la tierra filtrante con una cantidad promedia de 10 Kg, por la cantidad de 900 Kg de aceite, luego se realiza una mezcla homogénea, la cual pasa por el filtro, quedando filtrada la tierra y saliendo solo el aceite hacia el equipo secador. “(Gill 2008)” (Wachong Solano, 2015).

¹³ Agua libre (parcialmente).



Figura 40. Lugar de mezcla del aceite y la tierra filtrante.

Fuente: Elaboración propia.

3.8.6.2 Propiedades de las Tierras Fuller (Arcillas metálicas)

Las tierras fuller son consideradas como arcillas sedimentarias, conformadas por montmorillonita (roca compuesta por minerales del grupo de las esmectitas) y cuyo óxidos de silicio, magnesio, hierro y aluminio son intercambiables, formando una estructura de proporción de 1:1, para mejorar las propiedades de adsorción en el aceite dieléctrico “Murras, 1990”. (Agudelo Olarte, 2015)

Los aceites al someterse a esta arcilla sirve como sustancia adsorbente de partículas ácidas, para su comercialización se presentan en varios tamaños de granulometría de acuerdo a la aplicación que se requiera, para captar lodos presentes en los aceites para su regeneración. (Tapia Arias, 2014)

La cantidad de tierra fuller a utilizarse, depende del estado inicial de acidez, según el aceite a tratar y la calidad que se requiera alcanzar. “Gallo, 2007”. (Tapia Arias, 2014)

En la Tabla 9 , se describen las propiedades de la tierra fuller.

Tabla 9. Propiedades de las Tierras Fuller

Descripción	Cantidad
-------------	----------

pH	5,93
Carbono orgánico % p	0,11
Contenido de nitrógeno (N) % p	0,11
Contenido de fósforo (P) mg/Kg	380
Calcio (Ca) cmolc/Kg	10,3
Magnesio (Mg) cmolc/Kg	8,96
Potasio (K) cmolc/Kg	1,40
Hierro (Fe) mg/Kg	17
Manganeso (Mn) mg/Kg	4
Cobre (Cu) mg/Kg	1
Zinc (Zn) mg/Kg	1
Boro (B) mg/Kg	0,11
Sólidos volátiles % p	4,6 %

Fuente: (Beltrán Perez, Berrío Giraldo, Agudelo, & Cardoso Gallo, 2013)

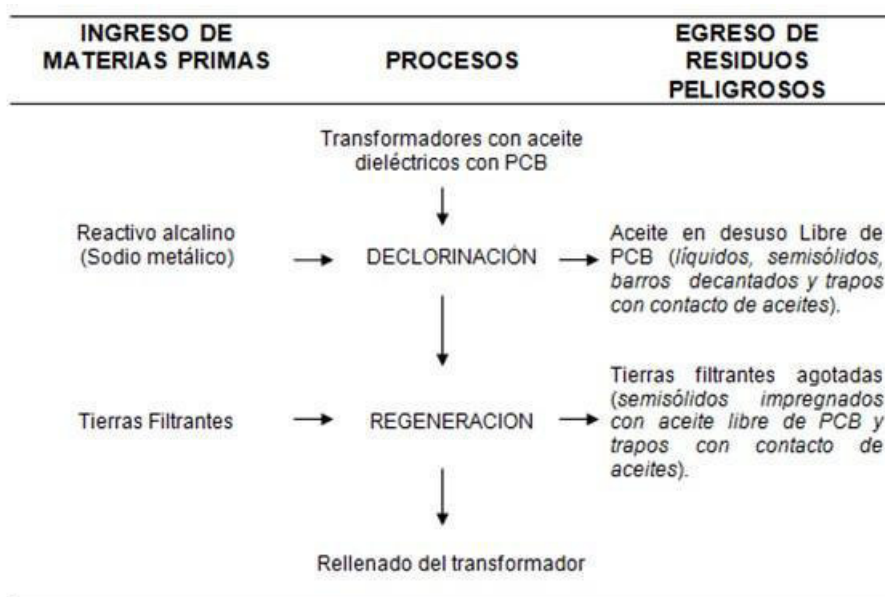
3.8.6.3 Residuos generados en el proceso

El proceso de descontaminación de los PCB's, no genera ningún tipo de residuos que contengan PCB's, ni en estado sólidos ni líquidos, debido a las siguientes razones:

- El reactor es el único equipo que tiene contacto con el aceite con PCB's.
- Las tierras filtrantes al final de su utilización, solo quedan impregnados con aceite libre de PCB's.

En la Tabla 10, se muestran las materias primas que ingresan y salen del tratamiento de los PCB's.

Tabla 10. Ingreso de materias primas y salida de residuos del tratamiento



Fuente: Elaboración propia.

En conclusión, el proceso de declorinación y regeneración de los aceites, generan residuos peligrosos libre de PCB's, realizando su disposición final mediante una Empresa Operadora de Residuos Sólidos (EO-RS), para su transporte y disposición final hacia un relleno de seguridad.

3.8.6.4 Balance de materia

En la Tabla 11, se presenta el balance de materia de todo el proceso del tratamiento por declorinación y regeneración, considerando un total de 6 869 Kg de aceite tratado, y se observa que el total de residuos peligroso libre de PCB's fue de 275, 51 Kg, el cual se dispuso mediante una Empresa Operadora de Residuos Sólidos (EO-RS), para disposición final en un relleno de seguridad.

Tabla 11. Balance de Masa de todo el tratamiento

Descripción	Entradas		Salidas	
	Materias primas auxiliares (Kg)	Aceite con PCB's (Kg)	Aceite tratado (Kg)	Residuos generados (Kg)

Aceite para Declorinación y Regeneración	-	6869	-	-
Reactivo sódico	38,16	-	-	-
Tierras filtrantes	76,32	-	-	-
Aceite declorinado y regenerado	-	-	6733,69	-
Residuos semisólidos (Residuos tipo Y8 y Cloruro de sodio).	-	-	-	36,42
Restos de tierras filtrantes con restos de aceite sin PCB's.	-	-	-	223.84
<i>Cloruro de sodio</i>				2,75
Trapos, EPPs etc.	-	-	-	15.25
Total	114.48	6869	6707.97	275.51

Fuente. Elaboración propia.

Considerando el modelo de análisis de (Hodgson, 2010 citado en la publicación de Wachong Solano, 2015), la cual servirá como guía, para la determinación de restos y productos que se generan en el proceso de la declorinación de los aceites dieléctricos y considerando que el total de la masa del aceite para el tratamiento es de 6 869 Kg, entonces: Masa de aceite = 6 869 Kg.

Contando con la masa total del aceite, se realizó la comparación según el trabajo de (Hodgson, 2010 citado en la publicación de Wachong Solano, 2015), donde muestra que, para el tratamiento para 1 500 Litros de aceite contaminado, con su masa de 1 320 kilogramos, a una concentración de PCB's de 50 ppm, la cantidad total de residuo generado fue de 7 Kilogramos, considerando estos datos se realiza la comparación:

$$6\,869\text{ Kg de aceite} \times \frac{7\text{ Kg de residuos}}{1\,320\text{ Kg de aceite}} = 36,42\text{ Kg de residuos}$$

Después de realizado la conversión el resultado fue de 36,42 kilogramos de residuos, por el tratamiento de 6 869 Kilogramos de aceite, aquí está considerado la

generación de cloruro de sodio, sólidos metálicos, polvos sedimentables (asfalto, alquitranes, etc), residuos generados por el tratamiento por dechlorinación.

Por otra parte tomando como suposición que los bifenilos policlorados contenidos generalmente pentaclorados, debido que provienen de la mezcla de los Arocloros 1242, 1254 y 1260, conteniendo un promedio de 52% de cloro, se consideró como pentaclorados, y el promedio de la masa molecular de los PCB's es de 323,4 g/mol, y realizando el promedio aritmético en la concentración de los PCB's de los 9 transformadores contaminados es de 443,12 ppm, con estos datos se procede a determinar la masa de los PCB's.

$$Masa\ PCB = 6\ 869\ Kg \times 443,12\ ppm \times \frac{1\ Kg}{1\ 000\ 000} = 3,04\ Kg\ PCB$$

Obteniendo la masa de los PCB's y su peso molecular de 323,4 g/mol, se puede determinar los moles de Cloro.

$$Mol\ Cl = 3,04\ Kg\ PCB \times \frac{1000\ g\ PCB}{1\ Kg\ PCB} \times \frac{1\ mol\ PCB}{323,4\ \frac{g}{mol}} \times \frac{5\ mol\ Cl}{1\ mol\ PCB} = 47\ mol\ Cl$$

Por lo tanto, para una masa molecular de Cloruro de sodio es igual a 58,44 g/mol, esta multiplicado por la 47 mol Cl, se va a generar un total de 2746, 68 gr de cloruro de sodio, en el proceso de la dechlorinación y en el proceso de regeneración se genera los restos de la tierra filtrante con restos de aceites, trapos y epps usados.

3.9 Muestreo de aceites tratados

Después de transcurrido los 90 días, se realizó el muestreo de aceites en los 09 Transformadores tratados, el muestreo de los aceites se realizo de acuerdo al procedimiento especificado en el Anexo 02 y las muestras fueron enviadas al laboratorio de DIGESA para el análisis por cromatografía de gases. En la Figura 41, se muestra los transformadores descontaminados y en la Figura 42, se observa el muestreo de los transformadores ya tratados.



Figura 41. Transformadores descontaminados del proyecto.
Fuente. Elaboración propia.

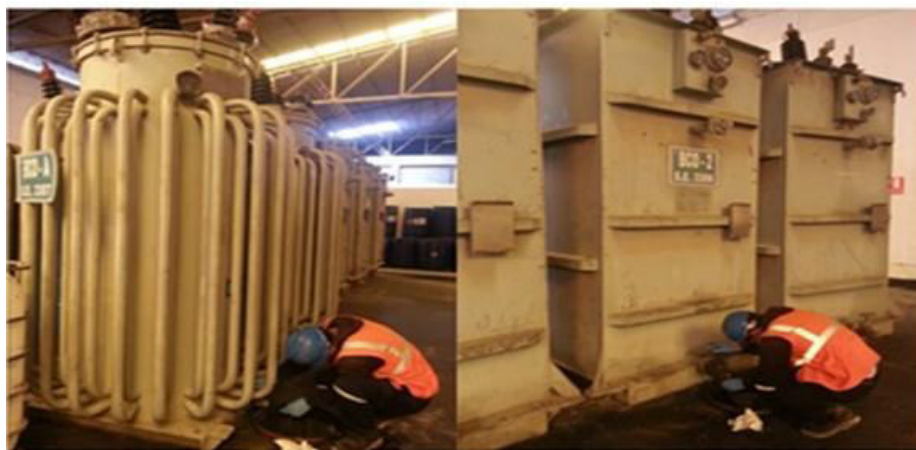


Figura 42. Toma de muestra después de los 90 días del tratamiento
Fuente. Elaboración propia.

CAPITULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1. Análisis, Interpretación y discusión de resultados

Cada secuencia del trabajo de investigación, tuvo un resultado objetivo para poder realizar el análisis, interpretación y discusiones en el caso corresponda.

4.1.1. Resultados y discusiones de las pruebas con el detector Clor-N-oil

El análisis utilizado para el descarte de aquellas muestras que no contengan PCB's, se realizo mediante el “*método no específico*”, el cual identifica de forma cualitativa los iones de cloro, considerandose como una prueba colorimétrica mediante el uso del detector de PCB's Clor-N-Oil 50 de la marca DEXSIL, para determinar presencia de PCB's mayor a 50 ppm.

En el proyecto se considero el muestreo de los aceites dieléctricos a los 42 transformadores de la lista, de los cuales 13 muestras resultaron como “positivos” y 29 muestras resultaron sin PCB's. Las muestras “positivas” presentaron como resultado el *color crema*, considerandose el 31% de muestras con presencia de PCB's mayor a 50 ppm y el 69% de las muestras sin PCB's, presentando como resultado el *color púrpura*.

Se debe de tener en cuenta, que el detector Clor-N-Oil puede expresar resultados llamados falsos positivos, el cual significa que de aquellas muestras positivas de *color crema*, algunas pueden ser que no contengan PCB's mayor a 50 ppm.

Según (Dexsil, s.f.), las posibles causas de los falsos positivos, se debería a los siguientes factores:

- Presencia de alguna otra fuente de cloro orgánico o inorgánico; incluyendo solventes clorados, sal de carretera o agua de mar.
- Detector Clor- N-Oil caducado, Azufre superior al 1%.
- Trozos de carbono resultantes del fuego de los equipos.
- Los detectores Clor-N-Oil están calibrados en Aroclor 1242 (42% clorados). Aroclor más fuertemente clorados. (es decir, 1254 o 1260) puede dar lugar a informes falsos positivos.

En la Tabla 12, se muestra la relación de transformadores considerados para el trabajo de investigación.

Tabla 12. Relación de transformadores muestreados para el proyecto

Nº	Lugar	Nº de serie	Peso aceite (kg)	Peso Total (kg)	Año de fabricación	Resultado
1	SE Nº 1 Nv 4850	ND	ND	ND	ND	Negativo
2	SE Nº 1 Nv 4020	ND	ND	ND	ND	Negativo
3	SE Nº2 Nv 3900	ND	ND	ND	ND	Negativo
4	Se Nº3 Nv 3840	ND	ND	ND	ND	Negativo
5	SE Nº1 Nv 3780	ND	ND	ND	ND	Negativo
6	SE Nº1 Nv 3620	ND	ND	ND	ND	Negativo
7	SE Nº10 Nv 3600	ND	ND	ND	ND	Negativo
8	SE Nº2 Nv 3540	ND	ND	ND	ND	Negativo
9	SE Nº1 Nv 3420	ND	ND	ND	ND	Negativo
10	SE Nº2 Nv 3420	ND	ND	ND	ND	Negativo
11	SE Nº1 Nv 3300	ND	ND	ND	ND	Negativo
12	SE Nº4 Nv 3180	ND	ND	ND	ND	Negativo
13	SE Nº1 Nv 3060	ND	ND	ND	ND	Negativo
14	SE Nº 1 Nv 3020	ND	ND	ND	ND	Negativo
15	SE Atacocha Nv 4000	ND	ND	ND	ND	Negativo
16	SE Atacocha Nv 4000	ND	ND	ND	ND	Negativo
17	SE Nº 1 Nv 3360	ND	ND	ND	ND	Negativo
18	Subestacion Principal	ND	ND	ND	ND	Negativo
19	SE Nº2 Nv 3420	ND	ND	ND	ND	Negativo
20	SE Banco A 8638809 Nv 4000	ND	ND	ND	ND	Negativo
21	SE Nº1 Nv 3720	ND	ND	ND	ND	Negativo
22	SE Nº1 Nv 3540	ND	ND	ND	ND	Negativo
23	SE Nº4 Nv 3540	ND	ND	ND	ND	Negativo
24	SE Nº1 Nv 3420	ND	ND	ND	ND	Negativo
25	SE Nº1 Nv 3420	ND	ND	ND	ND	Negativo
26	Bomba estacionaria Nv 3360	ND	ND	ND	ND	Negativo
27	Bomba estacionaria Nv 3180	ND	ND	ND	ND	Negativo
28	SE Nº4 Nv 3180	ND	ND	ND	ND	Negativo
29	SE Nº4 Nv 3180	ND	ND	ND	ND	Negativo
30	SE Nº1 NV 3360	ND	ND	ND	ND	Positivo
31	SE Atacocha	Sin serie 3	961	3046	1952	Positivo
32	San Felipe 1	ND	ND	ND	ND	Positivo
33	SE Atacocha Nv 4000	Sin serie 1	961	3046	1952	Positivo
34	SE Chicrin	F958033A	516	3851	1952	Positivo
35	SE Nº3 Nv 3540	ND	ND	ND	ND	Positivo
36	SE Atacocha Nv 4000 Serie Nº 8631051	8631051	961	3001	1952	Positivo
37	SE Atacocha Nv 4000 Serie Nº 8631052	8631052	961	3001	1952	Positivo
38	SE Chicrin 8ª	F958033B	516	3851	1952	Positivo
39	SE Chicrin 7ª	F958033C	516	3851	1952	Positivo
40	SE Chicrin 7B	F958033C	516	3851	1952	Positivo
41	SE Atacocha NV 4000 Serie B 961021	ND	ND	ND	ND	Positivo
42	SE Atacocha Nv 4000 Serie B 8638810	8638810	961	3046	1952	Positivo

Fuente. Elaboración propia.

4.1.2 Resultados y discusiones antes del proceso de declorinación

Para determinar la cuantificación exacta de PCB's de las muestras positivas, se aplico el "método específico", mediante el análisis en laboratorio por cromatografía de gases, contando con el laboratorio del DIGESA, la cual cuenta con acreditación del INDECOPI (0268.2014/SNA-INDECOPI) y Acreditación del Instituto Nacional de Calidad (INACAL) con Registro N° LE-080. El análisis por cromatografía de

gases aplicó el Método de ensayo DIGESA-AO-PE-13-2013. “Determinación de PCB en aceite dieléctrico (validado) con referencia al ASTM D4059-00(2010)”.

En la Tabla 13, se muestran los resultados del análisis por cromatografía de gases, de las 9 muestras de los transformadores con PCB's.

De los 09 transformadores el equipo de serie F958022C de la Sub Estación Cricrín 7A, es el de mayor resultado 820.45 mg/Kg ó ppm de PCB, y el transformador SE Atacocha NV4000 con serie N° 8631052, presenta el menor resultado $96,57 \text{ mg/kg}$ ó ppm . En conclusión los resultados de estos 9 transformadores superan el Límite Máximo Permisible (LMP) de PCB's en los aceites dieléctricos, y por lo tanto fueron considerados para el tratamiento por decoloración.

Tabla 13. Resultado del análisis por cromatografía de muestras con PCB's

N°1	Lugar	Marca	Serie	Código de campo	Arocloros (mg/kg)
1	SE Atacocha	General Electric	8638809	M83/MINAM	190.57
2	SE Atacocha Nv 4000	General Electric	S/N	M84/MINAM	214.93
3	SE Chicrín	General Electric	F958033A	M85/MINAM	570.47
4	SE Atacocha Nv 4000 N°8631051	General Electric	8631051	M86/MINAM	134.02
5	SE Atacocha Nv 4000 N°8631052	General Electric	8631052	M87/MINAM	96.57
6	SE Chicrín 8A	General Electric	F958033B	M88/MINAM	811.27
7	SE Chicrín 7A	General Electric	F958033C	M89/MINAM	820.45
8	SE Chicrín 7B	General Electric	F958033C	M90/MINAM	788.01
9	SE Atacocha Nv 4000 Serie B 8638810	General Electric	8638810	M91/MINAM	361.783

Fuente: Reporte del Ministerio del Ambiente (MINAM).

En conclusión, de las 42 muestras consideradas, 33 muestras resultaron sin PCB's y 9 muestras resultaron con presencia de PCB's, las cuales se consideraron para el tratamiento por decoloración de PCB's.

4.1.3 Resultados y discusiones después del tratamiento de aceites con PCB's

Concluido el tratamiento de los aceites dieléctricos y transformadores con PCB's, se espero el tiempo de 90 días para la toma de muestras, con el objetivo de descontaminar los transformadores internamente. Transcurrido el tiempo

determinado por garantía que presento la empresa KIOSHI, se realizó el muestreo de los 9 transformadores y se enviaron al laboratorio del DIGESA, para su análisis por cromatografía de gases aplicando el Método de ensayo DIGESA-AO-PE-13-2013. “Determinación de PCB en aceite dieléctrico (validado) con referencia al ASTM D4059-00(2010)”.

En el Tabla 14, se presenta el porcentaje de la eficacia del tratamiento, según los resultados obtenidos del análisis de las muestras, donde los equipos tuvieron resultados en intervalos de medición, superando las expectativas del tratamiento por dechlorinación.

Tabla 14. Porcentaje de eficacia del tratamiento por dechlorinación

Concentración final de PCB's (ppm)	Cantidad de transformadores	(%)
<1.6	4	44,4 %
>1.6 y <5	3	33,3 %
>5 y <9	2	22,2 %
Total	9	100 %

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 15, se presentan los resultados finales, después de transcurrido los 90 días, se observan los resultados por muy debajo de los 50 ppm, de los cuales 04 muestras presentan valores debajo de 1,6; menor del límite de detección del análisis, demostrando la efectividad de reducción de los PCB's en un 100 % y en los otros 6 transformadores se registraron valores que representan en porcentaje entre el 97 % al 99 % de descontaminación de los PCB's.

Tabla 15. Comparación de resultados del antes y después del tratamiento

N°	Lugar	Muestras	Arocloros (Antes del proyecto)	Arocloros (Resultado del proyecto)	% efectividad
1	SE Atacocha	8638809	190.57	<1.6	100 %

2	SE Atacocha Nv 4000	Banco A S/N	214.93	<1.6	100 %
3	SE Chicrín	F958033A	570.47	<1.6	100 %
4	SE Atacocha Nv 4000 N°8631051	8631051	134.02	2.4	98 %
5	SE Atacocha Nv 4000 N°8631052	8631052	96.57	2.8	97 %
6	SE Chicrín 8A	F958033B	811.27	7.8	99 %
7	SE Chicrín 7A	F958033C	820.45	8.9	99 %
8	SE Chicrín 7B	F958033C	788.01	<1.6	100 %
9	SE Atacocha Nv 4000 Serie B 8638810	8638810	361.783	3.1	99 %

Fuente: Informe de ensayo N° 0276-2015 (DIGESA).

Cabe mencionar que de acuerdo a la oferta técnico – económica que presento Kioshi ante la empresa privada y el Ministerio del ambiente, en donde garantizan obtener resultados finales de concentración de 35 ppm de PCB's, esto para los nueve transformadores considerados en el proyecto, sin embargo viendo los resultados finales del tratamiento, se demuestra que el tratamiento por declorinación fue eficiente, debido que los resultados fueron por debajo de los 35 ppm.

4.2. Pruebas de Hipótesis

4.2.1. Hipótesis General

a) Descripción de Hipótesis

Hipótesis Nula (H0)

El tratamiento por declorinación no reduce el contenido de PCB's en los aceites dieléctricos, no eliminan ni reducen los átomos de cloro de las moléculas de PCB's, hasta por debajo del límite máximo permisible de PCB's en aceites dieléctricos de los transformadores que es 50 ppm.

Hipótesis Alternativa (H1)

El tratamiento por declorinación reduce el contenido de PCB's de los aceites dieléctricos, eliminando los átomos de cloro presentes en las moléculas de PCB's, hasta por debajo del límite máximo permisible de 50 ppm, ya que debido a la presencia del cloro, se establece a los PCB's, en compuestos muy estables y resistentes a la degradación química, biológica, mecánica y térmica, tienen una baja presión de vapor y elevados puntos de inflamación; no son hidrolizables ni solubles en agua, pero sí en solventes orgánicos, como aceites y grasas vegetales o sintéticas; características por las cuales son clasificados como compuestos orgánicos persistentes (COPs).

Entonces (u):

$H_0: u \geq 50$ (No reduce los PCB's)

$H_1: u < 50$ (Reduce los PCB's)

b) Nivel de significancia:

Se refiere al valor de Alfa (α) = 0,05 = 5%

c) Elección de la prueba

La prueba de hipótesis, se realizó con la prueba T-Student en el software SPSS, para muestras relacionadas, porque a un solo grupo se le realizó dos medias en momentos diferentes de tiempo, por eso se habla de un estudio longitudinal, la variable fija (variable que crea los grupos), crea dos medidas uno antes del tratamiento de los aceites por declorinación y después del tratamiento por declorinación.

d) Cálculo "P- valor"

Antes de calcular el “P-valor” para la prueba T-Student, es necesario corroborar si las variables “Antes y después” se comportan Normalmente, por eso se verifica el supuesto de Normalidad.

Cálculo de Normalidad

Se eligió la normalidad por “Chápiro Wilk” porque son muestras pequeñas menores de 30 muestras.

En primera parte el SPSS muestra que los datos son válidos, no hay datos de valores perdidos, porque muestran el porcentaje del 100%, se muestra en la Tabla 16.

Tabla 16. Comparación de datos en el SPSS

<i>Resumen de procesamiento de casos</i>						
	Casos					
	Válido		Perdidos		Total	
	N	Porcentaje	N	Porcentaje	N	Porcentaje
Antes del Tratamiento	9	100,0%	0	0,0%	9	100,0%
Después del Tratamiento	9	100,0%	0	0,0%	9	100,0%

Fuente: Elaboración propia

Resultado de la Prueba de Normalidad

En la Tabla 17, se presenta el resultado de la Prueba de Normalidad por *shapiro wilk*, por tratarse de menos de 30 muestras, donde se observa el resultado de la significancia menor a alfa (α).

Tabla 17. Prueba de Normalidad por Shapiro Wilk

<i>Pruebas de normalidad</i>						
	Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
	Estadís.	Gl	Sig.	Estadís.	gl	Sig.
Antes del	,216	9	,200*	,847	9	,070

Tratamiento						
Después del Tratamiento	,252	9	,103	,789	9	,015

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 18, se muestra el nivel de significancia de las muestras del antes del tratamiento es de 0,070 y las muestras después del tratamiento es 0,015, entonces comparamos los valores con alfa (α).

Tabla 18. Prueba de Normalidad

<i>Normalidad</i>		
P-Valor (Antes del tratamiento) = 0,070	>	$\alpha=0,05$
P-Valor (Después del tratamiento) =0,015	>	$\alpha=0,05$

Fuente: Elaboración propia

Criterio para determinar Normalidad:

P-Valor $\Rightarrow \alpha$. Aceptar la H_0 (proviene de una distribución normal).

P-Valor $< \alpha$. Aceptar la H_1 (No proviene de una distribución normal).

Afirmación para la Distribución

Entonces (P-Valor $> \alpha$; Aceptar la H_0), podemos afirmar que los datos de las muestras de los aceites con contenido de PCB's de los 9 transformadores, provienen de una distribución **Normal**.

Desarrollo de la Prueba T – Student

En esta parte se desarrolla la prueba T-Student para las muestras relacionada de antes y después del tratamiento por decoloración de los PCB's.

En la Tabla 19, se muestran los resultados de la prueba "T" en el SPSS, donde se muestran las "Medias" de antes y después del tratamiento, observándose que la media después del tratamiento disminuye significativamente los resultados después del tratamiento.

Tabla 19. Medias del antes y después del tratamiento con la prueba T-Student

Estadísticas de muestras emparejadas					
		Media	N	Desviación estándar	Media de error estándar
Par 1	Antes del Tratamiento	443,11	9	306,177	102,059
	Después del Tratamiento	2,78	9	3,492	1,164

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 20, se muestra el resultado de Significancia de la prueba T-Student en el SPSS, donde se puede observar el resultado del P-Valor de 0,003, menor que alfa (α).

Tabla 20. Significancia de la Hipótesis General con la prueba “T” en el SPSS

Prueba de muestras emparejadas									
		Diferencias emparejadas					t	gl	Sig.
		Med	Desvi. estándar	Media de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia				(bilateral)
					Inferior	Super			
Par 1	Antes	440,333	305,524	101,841	205,487	675,180	4,324	8	,003
	Después								

Fuente: Elaboración propia

Se observa que el **P-Valor** es mucho menor que alfa (α)

P-Valor=0,003	<	$\alpha=0,05$
---------------	---	---------------

e) El Criterio para Decidir:

Si la probabilidad obtenida $P\text{-Valor} \leq \alpha$, rechaza la H_0 (Se Acepta la H_1).

Si la probabilidad obtenida $P\text{-Valor} > \alpha$, no rechaza la H_0 (Se Acepta la H_0).

f) Conclusión:

Se concluye que el Tratamiento por Decoloración **SI** tiene efectos significativos para el tratamiento de los PCB's. Se rechaza la hipótesis nula, aceptando la Hipótesis Alternativa, porque el P-Valor es menor a " α ", siendo el P-Valor 0,003.

Determinando lo siguiente:

El tratamiento por decoloración reduce el contenido de PCB's de los aceites dieléctricos, eliminando los átomos de cloro de las moléculas de PCB's, hasta por debajo del LMP en aceites dieléctricos que es de 50 ppm.

4.2.2. Hipótesis específicas

Hipótesis Específico 01

a) Formulación de Hipótesis

H0: Con el uso de los Kit Colorimétrico para detección de los PCB's Clor-N-Oil 50, NO se puede realizar el descarte de aquellos equipos no contaminados con PCB's, de acuerdo al color del resultado de las pruebas.

H1: Con el uso de los Kit Colorimétrico para detección de PCB's Clor-N-Oil 50, SI se puede realizar el descarte de aquellos equipos no contaminados con PCB's, de acuerdo al color del resultado de las pruebas.

b) Nivel de Significancia

Considerando $\alpha=0,05$

c) Prueba estadística:

Se consideró a la prueba estadística de “**Chi-cuadrada**”, debido que las variables son cualitativas y nominales, para relacionar los parámetros del Kit Clor-N-Oil 50 y los resultados colorimétricos “Morado = equipos no contaminados con PCB’s, se deben descartar para el tratamiento” y “Crema = equipos contaminados con PCB’s, no se descartan para el tratamiento”.

En la Tabla 21, se muestra la contingencia de Parámetros de color y color de los resultados de la muestra, con resultado del 100% del total.

Tabla 21. Contingencia de Parámetros de color y color de las muestras

Tabla de contingencia Parámetros de color * Color de muestra					
		Color de muestra		Total	
		Morado	Crema		
Parámetros de color	menor 50	Recuento	29	0	29
		Frecuencia esperada	20,0	9,0	29,0
		% del total	69,0%	,0%	69,0%
	mayor 50	Recuento	0	13	13
		Frecuencia esperada	9,0	4,0	13,0
		% del total	,0%	31,0%	31,0%
Total	Recuento	29	13	42	
	Frecuencia esperada	29,0	13,0	42,0	
	% del total	69,0%	31,0%	100,0%	

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 22, se muestran los resultados de la prueba del Chi-cuadrado, realizado en el software estadístico del SPSS.

Tabla 22. Resultado de la prueba del Chi-cuadrado

Pruebas de Chi-cuadrado						
	Valor	gl	Sig. asintótica (bilateral)	Sig. exacta (bilateral)	Sig. exacta (unilateral)	Probabilidad en el punto
Chi-cuadrado de Pearson	42,000	1	,000	,000	,000	
Corrección por continuidad	37,451	1	,000			
Razón de verosimilitudes	51,972	1	,000	,000	,000	
Estadístico exacto de Fisher				,000	,000	
Asociación lineal por lineal	41,000	1	,000	,000	,000	,000

Fuente: Elaboración propia

d) Decisión

Se observa que el P Valor es menor que alfa (α)

$$P \text{ Valor} = 0.000 < \alpha = 0,05$$

e) Conclusión e Interpretación:

Como el valor de Sig. (valor crítico observado) $0,000 < 0,05$ rechazamos la hipótesis nula y aceptamos la hipótesis alternativa, es decir: Con el uso de los Kit Colorimétrico Clor-N-Oil 50, SI se puede hacer el descarte de aquellos equipos no contaminados con PCB's, de acuerdo al color del resultado de las pruebas.

Hipótesis Específico 02

a) Formulación de Hipótesis

H0: Los resultados por el análisis por cromatografía de gases, No descartó equipos no contaminados con PCB's, los cuales fueron resultados supuestos y llamados "falsos positivos" por el uso del kit colorimétrico Clor-N-Oil para 50 ppm.

H1: Los resultados por el análisis por cromatografía de gases, SI descartó equipos no contaminados con PCB's, los cuales fueron resultados supuestos

y llamados “falsos positivos” por el uso del kits colorimétrico Clor-N -Oil 50.

b) Nivel de Significancia

Considerando $\alpha=0,05$

c) Prueba estadística:

Se eligió la prueba de hipótesis “**Correlación de Pearson**”, para buscar la relación entre los resultados por análisis por cromatografía de gases y la decisión del tratamiento para aquellos equipos con resultados mayores a 50 ppm (Ver Tabla 23).

Tabla 23. Resultado de Correlaciones de la Cromatografía de Gases

Correlación de Pearson				
		Cromatografía de Gases	Decisión de tratamiento	
Cromatografía de Gases	Correlación de Pearson	1	-,604*	
	Sig. (bilateral)		,029	
	N	13	13	
	Bootstrap ^a	Sesgo	0	,006
		Típ. Error	0	,103
		Intervalo de confianza al 85.7%	Inferior	1
			Superior	1
				-,771
				-,455
Decisión de tratamiento	Correlación de Pearson	-,604*	1	
	Sig. (bilateral)	,029		
	N	13	13	
	Bootstrap ^a	Sesgo	,006	0
		Típ. Error	,103	0
		Intervalo de confianza al 85.7%	Inferior	1
			Superior	1
				-,771
				-,455

Fuente: Elaboración propia

d) Decisión

El P valor es menor que alfa.

$$P \text{ Valor} = 0,029 < \alpha = 0,05$$

e) Conclusiones

Como el valor de Sig (valor crítico observado) es $0,029 < 0,05$; rechazamos la hipótesis nula y aceptamos la hipótesis alternativa, es decir: Los resultados por el análisis por cromatografía de gases, SI descartó equipos no contaminados con PCB's, los cuales fueron resultados supuestos y llamados "falsos positivos" por el uso del kit colorimétrico Clor-n-oil 50.

Hipótesis Específico 03

a) Formulación de Hipótesis

H0: No existe relación entre los transformadores con PCB's mayor a 50 ppm y el año de fabricación de los equipos más antiguos según el registro de cada placa.

H1: Existe relación entre los transformadores con PCB's mayor a 50 ppm y el año de fabricación, considerándose los transformadores más antiguos, según el registro de cada placa.

b) Nivel de Significancia

El P valor es menor que alfa. Considerando $\alpha=0,05$

c) Prueba Estadística

Se consideró a la prueba estadística de "Chi-cuadrada", debido que las variables son cualitativas y nominales, para relacionar las variables de la Decisión del tratamiento de aquellos equipos con PCB's y la relación con el año de fabricación que es antes del año 1983 (Ver Tabla 24).

Tabla 24. Tabla de contingencia de Decisión de tratamiento y el año de fabricación

Chi-cuadrada					
		Año de fabricación		Total	
		Menor de 1983	Mayor de 1983		
Decisión de tratamiento o	mayor a 50	Recuento	9	0	9
		Frecuencia esperada	6,2	2,8	9,0
		% del total	69,2%	,0%	69,2%
	menor 50	Recuento	0	4	4
		Frecuencia esperada	2,8	1,2	4,0
		% del total	,0%	30,8%	30,8%
	Total	Recuento	9	4	13
		Frecuencia esperada	9,0	4,0	13,0
		% del total	69,2%	30,8%	100,0
				%	

Fuente. Elaboración propia.

Tabla 25. Prueba el Chi-cuadrado de Pearson

Prueba Chi-cuadrado de Pearson					
	Valor	gl	Sig. asintótica (bilateral)	Sig. exacta (bilateral)	Sig. exacta (unilateral)
Chi-cuadrado de Pearson	13,000	1	,000		
Corrección por continuidad	8,729	1	,003		
Razón de verosimilitudes	16,048	1	,000		
Estadístico exacto de Fisher				,001	,001
Asociación lineal por lineal	12,000	1	,001		
N de casos válidos	13				

Fuente. Elaboración propia

d) Decisión: El P valor es menor que alfa. $P \text{ Valor} = 0,000 < \alpha = 0,05$

e) Conclusiones e Interpretación

Como el valor de Sig. (valor crítico observado) es $0,000 < 0,05$, rechazamos la hipótesis nula y aceptamos la hipótesis alternativa, es decir: Existe relación entre los transformadores con PCB's mayor a 50 ppm y el año de fabricación antes del año 1979, identificadas en las placas.

CONCLUSIONES

- El desarrollo del tratamiento por declorinación demostró ser factible, redujo el contenido de PCB's en los aceites dieléctricos de los transformadores, la empresa KIOSHI asegura que mediante este método de tratamiento se pueden tratar los aceites que contengan hasta 10 000 ppm de PCB's.
- Este método de tratamiento por declorinación, representa una alternativa de gestión, para aquellas empresas usuarias de equipos electrónicos los cuales contienen PCB's, o puedan iniciar con los inventarios y pruebas de descarte, ya que los detectores de PCBs Declor-N-Oil 50, no son costosos y se pueden encontrar en el Perú.
- De acuerdo al resultado final, se concluye que el tratamiento por declorinación elimina el riesgo de salud a los trabajadores y al medio ambiente, al reducir la concentración de los PCB's en los transformadores eléctricos de la unidad de estudio.
- Los análisis por cromatografía de gases, registran resultados exactos de concentración de los PCB's, en las muestras realizadas, e inclusive registrarán resultados, hasta por debajo del límite de detección del método de análisis.
- Se concluye que existe relación entre los transformadores con PCB's y el año de fabricación identificada en las placas, debido que son del año 1956. Esto quiere decir, cuantos más antiguos son los transformadores, existe mayor seguridad de contener presencia de PCB's.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda que antes de realizar el tratamiento por dechlorinación, tener en cuenta, la cantidad de aceite y los resultados del análisis por cromatografía de gases, para considerar solo aquellos equipos, resultados mayor a 50 ppm de PCB's. Porque el tratamiento por dechlorinación se cotiza por cantidad en litros de aceites dieléctricos para su tratamiento y la cantidad de PCB's presente.
- Se recomienda hacer un manejo adecuado de los residuos generados del proceso del proyecto y descarte de los equipos de protección personal usados, como disposición final en un relleno de seguridad autorizado.
- Se recomienda la implementación de los resúmenes de las fichas de seguridad en los equipos con presencia de PCB's para evitar contactos indeseados sin precaución.
- En el caso de que la empresa cuente con equipos con aceites dieléctricos con PCB's, es importante llevar un manejo interno dentro de sus Sistema de Gestión de Seguridad y Salud Ocupacional, implementando medidas de precaución, señalizando aquellos equipos con presencia de PCB's, dando a conocer a los trabajadores que podrían estar expuestos a los efectos que ocasiona el contacto de los PCB's en concentraciones mayores a 50 ppm , exigiendo la identificación en sus matrices de identificación de peligros y riesgos diarios que realizan, en cuanto a los trabajos directos con equipos con PCB's.
- Sería importante que el Ministerio del Ambiente o el Ministerio de Salud, pueda crear un registro digital del inventario actualizado de presencia de bifenilos policlorados de todos los sectores, el cual que desde el año 2006 no se cuenta con información actualizada y a disposición del público en general, como lo desarrollan en otros países de América del Sur, como en el caso de Colombia, Chile, Brasil y México y promulgar normativas de exigencia para su declaración, gestión y tratamiento final, para cumplir con el Convenio de Estocolmo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades. (2016). *Resúmenes de Salud Pública - Bifenilos policlorados (BPCs) [Polychlorinated Biphenyls (PCBs)]*. Obtenido de https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs17.html
2. Acosta, G. (2001). En *Diagnostico Nacional de Bifenilos Policlorados en México*. México.
3. Agudelo Olarte, S. (2015). Evaluación técnica para la activición de tierras fuller contaminados en aceites dieléctricos. (Tesis de pregrado), Universidad Pontificia Bolivariana, Medellín.
4. Astudillo Pillaga, M. (2014). Gestión de los Transformadores eléctricos con bifenilos policlorados de la empresa Centrosur. (Tesis de posgrado). Cuenca, Ecuador.
5. BBC News. (2010). *Profile: Viktor Yushchenko*. Obtenido de <http://news.bbc.co.uk/2/hi/europe/4035789.stm>
6. Beltrán Perez, Ó. D., Berrío Giraldo, L. I., Agudelo, É. A., & Cardoso Gallo, S. A. (2013). Tecnologías de tratamiento para la tierra Fuller contaminada con aceite dieléctrico. *Revista de Ingenieria de Antioquia*, 33-48.
7. Comisión Nacional del Medio Ambiente [CONAMA] & Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente [PNUMA]. (2004). *Manual de Chile sobre el manejo de bifenilos policlorados (PCB Askareles): Un estudio de caso sobre la aplicación de guías*. Santiago de Chile, Chile: CONAMA.
8. Consejo Nacional del Ambiente [CONAM], la Dirección General de SaludAmbiental [DIGESA] y el Servicio Nacional de Sanidad Agraria [SENASA]. (2006). *Inventario Nacional de Bifenilos Policlorados*. Obtenido de Proyecto GEF/PNUMA N°2328-2761-4747: <http://sinia.minam.gob.pe/documentos/inventario-nacional-bifenilos-policlorados-2006>
9. Corporation, J. E. (24 de Diciembre de 2014). *About PCB*. Obtenido de <http://www.jesconet.co.jp/eg/pcb/pcb.html>
10. Dexsil. (s.f.). *FREQUENTLY ASKED QUESTIONS*. Obtenido de <https://www.dexsil.com/uploads/docs/webfaqcnorev.1.pdf>

11. DIGESA. (2010). *Manejo y Disposición ambientalmente racional de Bifenilos Policlorados*. Perú.
12. Dirección general de Salud Ambiental de Inocuidad Alimentaria [DIGESA]. (2017). *Inventario y eliminación de Existencias y Residuos con PCB- Proyecto "Manejo y Disposición ambientalmente Racional de Bifenilos Policlorados"*. Perú: Solvima Graf SAC.
13. Environmental Protection Agency [EPA]. (2013). *PCBs Fluorescent Light Fixtures*. Obtenido de Air and Toxic Division Region 10. Citado en UNEP, 1999: <http://www.epa.gov/epawaster/tsd/pubs/nallast.htm>:EPA
14. Fernández Gonzales, R., Yebra Pimentel, I., Martinez Carballo, E., Regueiro, I., & Simal Gandara, J. (2013). Input of polychlorinated biphenyl residues in animal feeds. En *Food chemistry* (págs. 140: 296 - 304).
15. García, S. I. (s.f). *La contaminación ambiental con Bifenilos Policlorados y su Impacto en salud Pública*. Obtenido de http://www.msal.gob.ar/images/stories/ministerio/intoxicaciones/policlorados/bifenilos_policlorados.pdf
16. Hidalgo, H. (2009). *Recuperación Integral de Transformadores contaminados con PCB's de la Empresa Energía San Juan S.A.- Argentina*. (tesis de postgrado), Universidad del Norte, Argentina.
17. Inter Organization Programme for the Sound Management of Chemicals [IOMC] & United Nations Environmental Programme [UNEP]. (1999). *Guideline for the identification of PCBs and materials containing PCBs*. Geneve, Switzerland: UNEP.
18. Kioshi S.A (Dirección). (1998). *Regeneración de aceites dieléctricos de Transformadores*. [DVD] [Película].
19. Kioshi. (s.f.). *Proceso de Declorinación de Aceites Dieléctricos Contaminados con PCB* . Obtenido de <http://www.kioshi.com.ar>
20. Kuhn, T. (1975). La estructura de la Revoluciones Científicas. En *Fondo de cultura Económica* (pág. 17). Santiago de Chile.
21. LaGreca M, Buckingham P, & Evans J. (1996). *Hazardous waste management*. London, United Kingdoom: McGraw-Hill.

22. Lauby Secretan B, Loomis D, Grosse Y, El Grissassi F, Bouvard V, Benbrahim Tallaa L, . . . Straif K. (2013). Carcinogenicity of polychlorinated biphenyls and polybrominated biphenyls. En *Lancet Oncology* (pág. 14: 287).
23. Loayza, J., Silva, M., & Arce, G. (2015). Gestión Integral de Residuos de Bifenilos Policlorados - PCB (Aspectos generales y ciclo de vida). *Peruana de Química e Ingeniería Química*, 2.
24. Martinelli, M. (2003). *Equipos, materiales y sustancias con Bifenilos Policlorados (PCB's)*. Obtenido de <http://www.gerenciambiental.com.ar>
25. Martinez Ynga, R. (2013). *Determinación de PCB en Aceites Dieléctricos. DIGESA-AO-PE-13 (2013). Validado con referencia al ASTM D4059 (2010)*. Obtenido de <https://docplayer.es/71248191-Lic-quim-roberto-martinez-ynga.html>
26. MEM. (21 de Noviembre de 2014). *Reglamento de Protección y Gestión Ambiental para las Actividades de Explotación, Beneficio, Labor General, Transporte y Almacenamiento Minero. DS N°040-2014-EM*. Obtenido de <https://spda.org.pe/wpfb-file/decreto-supremo-040-2014-em-pdf/>
27. Mendoza Zegarra, M. (2013). Tesis de Maestría. *Estrategia para la gestión Ambientalmente racional de bifenilos policlorados (PCB) en el Perú, consideraciones ambientales y tecnológicas*. Perú.
28. MINAM. (24 de Marzo de 2014). *Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Suelo, Decreto Supremo 002-2013-MINAM*. Obtenido de <https://sinia.minam.gob.pe/normas/aprueban-estandares-calidad-ambiental-eca-suelo>
29. MINAM. (19 de Diciembre de 2015). *Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del Agua (ECA)*. Obtenido de <http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2015/12/Decreto-Supremo-N%C2%B0-015-2015-MINAM.pdf>
30. MINAM. (21 de Diciembre de 2017). *Decreto Supremo N° 014-2017-MINAM.- Reglamento del Decreto Legislativo N° 1278, Decreto Legislativo que aprueba la Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos*. Obtenido de <https://sinia.minam.gob.pe/normas/reglamento-decreto-legislativo-ndeg-1278-decreto-legislativo-que-aprueba>
31. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial República de Colombia. (2007). *Inventario Preliminar de Compuestos Bifenilos Policlorados*

- (PCB) existentes en Colombia. Colombia: Sanmartín Obregón & Cía Impreso en Colombia.
32. Ministerio de Energía y Minas. (07 de Junio de 1994). *Reglamento de Protección Ambiental en las Actividades Eléctricas aprobado por el Decreto Supremo N° 29-94-EM*. Obtenido de <http://www.osinerg.gob.pe/newweb/uploads/Publico/2.DS-029-94-EM-Reg.Proteccion%20Amb.pdf>
 33. Ministerio de Energía y Minas. (07 de Julio de 2019). *Decreto Supremo N° 014-2019-EM "Reglamento para la Protección Ambiental en las Actividades Eléctricas"*. Obtenido de <https://www.gob.pe/institucion/minem/normas-legales/283432-014-2019-em>
 34. Ministerio de Salud - DIGESA. (2017). Proyecto "Manejo y Disposición Ambientalmente Racional de Bifenilos Policlorados". *Guía para el Manejo Ambientalmente Racional de existencia y residuos de bifenilos policlorados (PCB)*. Lima, Perú: Solvima Graf SAC.
 35. Ministerio de Salud. (20 de Julio de 1997). *Ley General de Salud N° 26842*. Obtenido de http://www.essalud.gob.pe/ietsi/pdfs/tecnologias_sanitarias/1_Ley_26842-1997-Ley-General-de-Salud-Concordada.pdf
 36. Ministerio de Salud. (25 de Setiembre de 2018). *Resolución Ministerial N° 683-2018/MINSA*. Obtenido de <https://www.gob.pe/institucion/minsa/normas-legales/178088-683-2018-minsa>
 37. Ministerio de transportes y comunicación. (10 de Junio de 2008). *Reglamento Nacional de Transporte Terrestre de Materiales y Residuos Peligrosos aprobado mediante Decreto Supremo N° 021-2008-MTC*. Obtenido de https://www.oisevi.org/a/archivos/normativas/peru/norma_peru_9.pdf
 38. Ministerio del Ambiente. (15 de Octubre de 2005). *Ley General del Ambiente N° 28611*. Obtenido de <http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2013/06/ley-general-del-ambiente.pdf>
 39. Ministerio del Ambiente y Desarrollo. (2015). Manual para la Gestión Integral de Bifenilos Policlorados - PCB. En F. Mauricio, *N°1 Generalidades y conceptos básicos sobre los Bifenilos Policlorados* (pág. 11). Colombia: Una Tinta Medios SAS.

40. Ministerio del Medio Ambiente [MMA] & Canadian Energy Research Institute [CERI] & Agencia Canadiense para el Desarrollo Internacional [ACDI]. (2001). *Informe final - Manual de manejo de PCB para Colombia*. Bogotá, Colombia: s.p.
41. MINSA. (2017). *Fortalecimiento de Capacidades para la Gestión y Manejo de bifenilos policlorados (PCB)*. Obtenido de <http://proyectopcb.com/wordpress/wp-content/uploads/2016/12/PCB-Fortaleciendo-capacidades.pdf>
42. Mussini, R. (1998). *Bifenilos Policlorados - PCBs. Otra preocupación ambiental y un nuevo desafío analítico*. Obtenido de Laboratorios IACA: <http://www.iaca.com.ar>
43. Navas, D. F., Cadavid Ramírez, H., & Echeverry Ibarra, D. F. (Junio de 2012). *Aplicación de Aceites dieléctricos de origen vegetal en transformadores eléctricos*. Obtenido de <http://www.redalyc.org/pdf/477/47723297012.pdf>
44. Organización Mundial de la Salud. (2010). *Las dioxinas y sus efectos en la salud humana*. Obtenido de Nota descriptiva N° 225: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs225/es/>.
45. Ortiz, A. (2015). Ministerio de Ambiente y Energía-Dirección General de Calidad Ambiental. *Guía Técnica de PCB's en Costa Rica*. San José, Costa Rica: Printea-Grupo Nación.
46. OSINERGMIN. (2010). *Informe del servicio de descarte de PCB en 100 muestras de cinco lugares distintos*. Perú.
47. Passatore L, Rossetti S, Juwarkar AA, & Massacci A. (2014). Phytoremediation and bioremediation of polychlorinated biphenyls (PCBs). En *state of knowledge and research perspectives* (págs. 278: 189 - 202). Journals of Hazardous Materials.
48. Perez, C. (2009). *Los contaminantes ambientales bifenilos policlorados PCB's y sus efectos sobre el sistema nervioso y la salud*. México: Redalyc.
49. Pfafflin, J., & Ziegler, E. (2006). En *Enciclopedia of Enviromental Science and Engineering*. United Kingdom: Taylor and Francis Group.
50. PNUMA. (2008). *Convenio de Rotterdam*. Obtenido de Responsabilidad Compartida: http://www.pic.int/Portals/5/ResourceKit/A_General%20information/b.Overview/OVERVIEW_Sp09.pdf

51. PNUMA. (2009). *Convenio de Estocolmo sobre contaminantes orgánicos persistentes (COP)*. Obtenido de https://www.wipo.int/edocs/trtdocs/es/unep-pop/trt_unep_pop_2.pdf
52. PNUMA. (2014). *Convenio de Basilea*. Obtenido de Sobre control de los movimientos transfronterizos de los desechos peligrosos y su eliminación: <http://www.basel.int/portals/4/basel%20convention/docs/text/baselconventiontext-s.pdf>
53. PNUMA Productos Químicos. (Mayo de 2002). *Transformadores y condensadores con PCB; desde la gestión hasta la reclasificación y eliminación*. Obtenido de http://proyectopcb.com/wp-content/uploads/2016/12/PCBtranscap_PNUMA.pdf
54. Posada, E. L. (2006). Purificación de aceites aislantes contaminados con Bifenilos Policlorados. *Universidad Nacional de Colombia*. (Tesis de Postgrado), Colombia.
55. Programa de la Naciones Unidas para el Medio Ambiente [PNUMA]. (2002). Transformadores y condensadores con PCB: desde la gestión hasta la reclasificación y eliminación. *Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA)*.
56. Programa de la Naciones Unidas para el Medio Ambiente [PNUMA]. (2004). *Manual sobre Manejo de PCB's de Chile*. Chile.
57. Ritter, L., Solomon, K. R., & Forget, J. (1995). *Informe sobre evaluación sobre: DDT, aldrina, dieldrina, endrina, clordano, heptacloro, hexaclorobenceno, mirex, toxafeno, bifenilos policlorados, dioxinas y furanos*. Canada: Guelph.
58. Safety Consulting & Training S.A.C. (2014). *Requerimientos de Seguridad Industrial, Protección de la Salud y Preservación del Medio Ambiente para una instalación de tratamiento de aceites con bifenilos policlorados (PCB)*. Lima.
59. Salud Pública de México. (2013). *PCB NO OBSOLETOS Un segundo vistazo a los subproductos de la fabricación de pigmentos*. Obtenido de <http://saludpublica.mx/index.php/spm/article/view/7218/9405>
60. Soto Amezcua, C. A. (2005). Guía teórica y práctica para tendencia y eliminación de aceites Dieléctrico contenido con PCB's. *Universidad de San Carlos de Guatemala*. (Tesis de Pregrado), Guatemala: Recuperado de http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0553_EA.pdf.

61. Tapia Arias, C. (2014). Re-potenciación y automatización de la Purificadora de aceite dieléctrico marca Kato, utilizada en la central termoeléctrica Guangopolo de la empresa Celec EP Termopichincha. (Tesis de pregrado), Universidad de las Fuerzas Armadas, Ecuador.
62. Taylor NF, Dodd KJ, Baker RJ, Willoughby K, Thomason P, & Grahah HK. (2013). Progressive resistance training and mobility related function in young people with cerebral palsy: a randomized controlled trial. En *Developmental Medicine & Child Neurology* (págs. 55(9): 806-12).
63. Varsavsky, I. (2006). *Bifenilos Policlorados desde sus síntesis hasta su prohibición*. Obtenido de Fundación Nexus: referido de: <http://www.nexus.org.ar/trabajos%20publicados/Bifenilos%20policlorados%20desde%20su%20s%C3%ADntesis%20hasta%20su%20prohibici%C3%B3n%20-%202006.pdf>
64. Wachong Solano, L. D. (2015). Análisis técnico de la implementación del proceso de declorinación, regeneración y recuperación del aceite dieléctrico contaminado con bifenilos policlorados. (Tesis de pregrado), Universidad de Costa Rica, Costa Rica.
65. Yoshimura, T. (2003). Takesumi YOSHIMURA. *YUSHO IN JAPAN*, 139-148.

ANEXOS

ANEXO 01: FICHA DE IDENTIFICACIÓN PARA TRANSFORMADORES

INFORMACIÓN GENERAL			
Empresa			
Tipo de Subestación			
Número de subestación			
Departamento	Provincia	Distrito	Localización (Urbanización, AA.HH, carretera Km, calle cuadra)
INFORMACIÓN DEL TRANSFORMADOR			
Fabricante			
País de Origen			
Número de Serie			
Fecha de Fabricación			
Potencia (kVA)			
Tensión (kV) primario/secundario			
	Equipo (peso seco Kg.)		
Peso	Aceite/líquido (L. o Kg.)		
	Peso total (Kg.)		
Nombre del líquido o aceite			
Situación del Equipo (en uso, reparación, dado de baja).			
Condiciones del equipo (filtración de válvulas, juntas, sin tapa, presenta fisuras, oxidación visible)			
Lugar de almacenamiento (aire libre, almacén cerrado, sobre qué tipo de piso)			
Resultado de Análisis			
Otras Observaciones			

Figura 43. Ficha de Identificación para transformadores

Fuente: OSINERGMIN, 2010.

ANEXO 02: INSTRUCTIVO PARA TOMA DE MUESTRAS DE ACEITES

1. Materiales necesarios para la toma de muestras

Para la toma de una muestra representativa de aceite dieléctrico, se requiere de los siguientes elementos:

- Herramientas para soltar y apretar componentes del transformador.
- Frasco de color ámbar de 20 ml de preferencia.
- Recipiente para recolección de derrames o restos de aceite.
- Material para limpieza de válvulas y materiales.
- Material absorbente para derrames de aceite.
- Bolsa plástica para la recolección de los residuos sólidos.
- Marcador industrial.
- Cooler para recolección de muestras.
- Equipos de Protección personal (Overol, lentes de seguridad, respirador y guantes).

2. Procedimiento para la toma de muestras de aceites para análisis de PCB's

1. Verificar los datos de placa del transformador y registrarlos en el formato de identificación (Anexo 01). En caso de que no se tenga algún dato se debe poner NR (no registra)



*Figura 44. Registro de datos de la placa.
Fuente. Propia*

2. Limpiar el orificio por donde va a salir el fluido, con el fin de quitar la suciedad que puede estar pegada de la válvula



*Figura 45. Limpieza de válvulas de salida
Fuente. Propia*

3 Abrir y dejar que el líquido fluya por unos cuantos segundos, para retirar los lodos acumulados. Utilizar un recipiente para recolección de residuos líquidos.



Figura 46. Fluido de aceite por 3 segundos
Fuente: Propia.

4 Llenar el frasco de 20 ml hasta la mitad, se tapa y se sacude varias veces, con el fin de hacer un enjuague del recipiente, posterior a esto se destapa y se deposita el aceite en el recipiente de recolección de residuos líquidos, luego tomar la muestra.



Figura 47. Toma de muestra de aceite
Fuente. Propia

5 Cerrar la válvula del equipo y verificar que no queden escapes de aceite. Limpiar cuidadosamente el frasco que contiene la muestra



Figura 48. Cierre seguro de la válvula
Fuente. Propia

6 Rotular la muestra: Pegar la etiqueta al frasco, de tal manera que coincida con la información del transformador.



Figura 49. Rotulación de muestras
Fuente. Propia.

ANEXO 03: INSTRUCCIÓN PARA EL USO DEL KIT CLOR-N-OIL

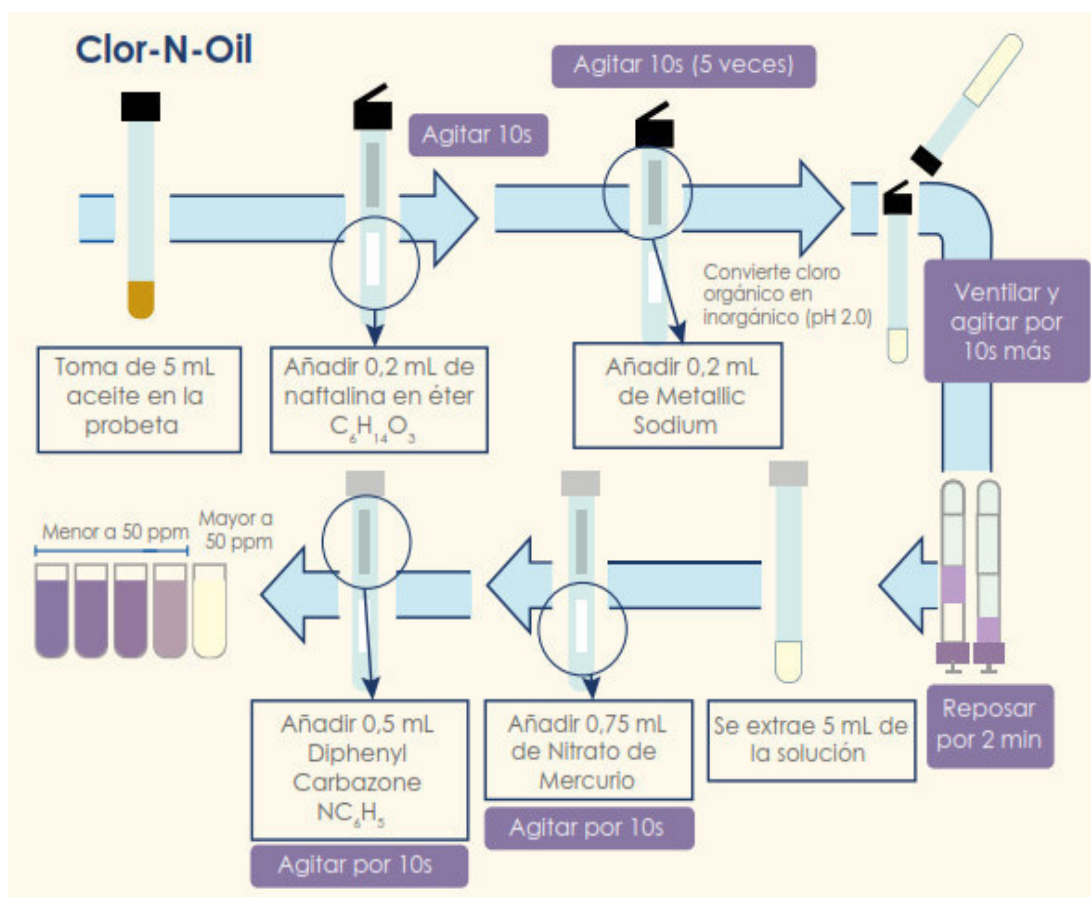


Figura 50. Instructivo para el uso del kit Clor-N-Oil

Fuente: Mendoza Zegarra (2013).

ANEXO 04: RESULTADO DE ENSAYO DE MUESTRAS INICIALES



 <div> <div>PERU</div> <div>Ministerio del Ambiente</div> <div>Vice-ministerio de Gestión Ambiental</div> <div>Dirección General de Calidad Ambiental</div> </div>						
<i>"Decreto de las personas con discapacidad en el Perú"</i> <i>"Año de la Integración Nacional y el Reconocimiento de Nuestra Diversidad"</i>						
Proyecto "Mejores prácticas para la gestión de PCB en el sector minero en América del Sur"						
Equipos con PCB identificados durante el inventario preliminar de PCB						
Código	Unidad	Ubicación	Marca	Nº serie	Potencia kVA	Concentración PCB (ppm)
						
MIL-021-080212	Atacocha	S/N Banco C	General electric	+	500	190,57
MIL-024-080212	Atacocha	S/N Banco A	General electric	S/N	500	214,92
MIL-019-080212	Atacocha	GA	General electric	F958033A	561	571,46
MIL-015-080212	Atacocha	Banco C	ND	8631051	ND	134,12
MIL-013-080212	Atacocha	Banco C	ND	8631052	ND	96,56
MIL-018-080212	Atacocha	Chicrin 8A	General electric	F958033B	561	811,26
MIL-025-080212	Atacocha	Chicrin 7A	General electric	F958033C	561	820,44
MIL-014-080212	Atacocha	Chicrin 7B	General electric	F958033C	561	788,00
MIL-022-080212	Atacocha	Banco A	ND	8638810	ND	361,78


Figura 51. Resultado de ensayo de muestras iniciales

Fuente: Ministerio del Ambiente (MINAM 2015)

ANEXO 05: RESULTADO FINAL DEL TRATAMIENTO

Exp N° 23983 - 2015-DI

"Decenio de las Personas con Discapacidad en el Perú"
"Año de la Diversificación Productiva y del Fortalecimiento de la Educación"



PERÚ
Ministerio de Salud
Dirección General de Salud Ambiental
LABORATORIO DE CONTROL AMBIENTAL

CARGO


INFORME DE ENSAYO N.° 0276-2015


Pág. 1 de 1


Solicitante: DEPA-DIGESA/MINAM
 Domicilio: Las Amapolas 350 Lince, Lima
 Muestra declarada: Aceite Dieléctrico
 Cantidad de muestras: Muestra proporcionada por el solicitante
 Fecha de ingreso: 9 x 30 mL aproximadamente
 Lugar de ensayos: 2015-04-23
 Laboratorio sede La Molina

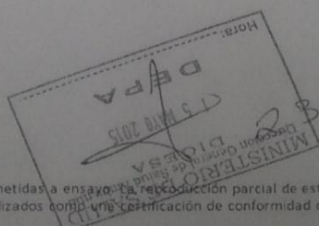
Identificación de las muestras / Resultados							
Código de Laboratorio	Código campo	Fecha de análisis	Aroclor 1242 (µg/g)	Aroclor 1254 (µg/g)	Aroclor 1260 (µg/g)	Suma de arocloros (µg/g)	
01374	M83/MINAM	2015-04-24	<1,2	<1,6	<0,7	<1,6	
01375	M84/MINAM	2015-04-24	<1,2	<1,6	3,1	3,1	
01376	M85/MINAM	2015-04-24	<1,2	<1,6	<0,7	<1,6	
01377	M86/MINAM	2015-04-24	<1,2	<1,6	<0,7	<1,6	
01378	M87/MINAM	2015-04-24	6,6	<1,6	1,1	7,8	
01379	M88/MINAM	2015-04-24	7,4	<1,6	1,4	8,9	
01380	M89/MINAM	2015-04-24	<1,2	<1,6	2,4	2,4	
01381	M90/MINAM	2015-04-24	<1,2	<1,6	2,8	2,8	
01382	M91/MINAM	2015-04-25	<1,2	<1,6	1,6	<1,6	
Límite de cuantificación del método:			1,2	1,6	0,7	1,6	

Nota: Los datos de las muestras son proporcionados por el solicitante.
 Método de ensayo
 DIGESA-AO-PE-13-2013. Determinación de PCB en aceites dieléctricos (validado) con referencia al ASTM D4059-00(2010)


 Roberto Carlos Martínez Ynga
 QUÍMICO
 CQP 940




 ELENA DEL ROSARIO GIL MERINO
 Jefa del Laboratorio de Control Ambiental



Lima, 2015-05-13
 EGM/SGV/ing

Los resultados de este informe corresponden a las muestras sometidas a ensayo. La reproducción parcial de este informe no está permitida sin la autorización por escrito de este laboratorio. Los resultados no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado de sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Laboratorio sede La Molina
 Calle Los Pinos N° 259,
 Urb. Camacho, La Molina-Lima 12
 T (511) 4341912

www.digesa.minsa.gob.pe
www.digesa.sid.pe

Laboratorio sede principal
 Calle Las Amapolas N° 350
 Urb. San Eugenio, Lince – Lima 14, Perú
 Central telefónica: (511) 6214230

F05-AC-PS-13 Rev 0.

Figura 52. Resultado final del tratamiento

Fuente: Informe de Ensayo (DIGESA 2015).

ANEXO 06: ETIQUETA PARA EQUIPOS Y RESIDUOS CON PCB'S

Razón social de la empresa
EQUIPO CONTAMINADO CON PCB (BIFENILO POLICLORADO) ESTE EQUIPO REQUIERE DE TRATAMIENTO ESPECIAL Y MANEJO DE ACUERDO AL PLAN DE GESTIÓN DE PCB DE LA EMPRESA La regulación lo considera como contaminante ambiental y de serio riesgo para la salud En caso de accidente, derrame u otra contingencia con este equipo comunicarse a la empresa propietaria del mismo o al Cuerpo General de Bomberos
Concentración de PCB > a 50 ppm
Fecha de análisis: Año: 11 – 12 – 13 – 14 – 15 – 16 – 17 – 18 – 19 – 20 – 21 – Mes: 1 – 2 – 3 – 4 – 5 – 6 – 7 – 8 – 9 – 10 – 11 – 12 Día: 1 – 2 – 3 1 – 2 – 3 – 4 – 5 – 6 – 7 – 8 – 9 – 0
Razón social de la empresa evaluadora:

Figura 53. Etiqueta para equipos con PCB's

Fuente. (Ministerio de Salud, 2018)

ANEXO 07: ETIQUETA PARA EQUIPOS CON TRATAMIENTO CON PCB'S

Razón social de la empresa
EQUIPO DESCONTAMINADO DE PCB (BIFENILOS POLICLORADOS) A una concentración por debajo de 50 ppm
En caso de accidente, derrame u otra contingencia con este equipo comunicarse a la empresa propietaria del mismo o al Cuerpo General de Bomberos
Proceso de descontaminación aplicado: Fecha de culminación del proceso de descontaminación: Año: 11 – 12 – 13 – 14 – 15 – 16 – 17 – 18 – 19 – 20 – 21 – Mes: 1 – 2 – 3 – 4 – 5 – 6 – 7 – 8 – 9 – 10 – 11 – 12 Día: 1 – 2 – 3 1 – 2 – 3 – 4 – 5 – 6 – 7 – 8 – 9 – 0
Razón social de la empresa que realizó la descontaminación:
N.º de serie del equipo o código de identificación:
<i>Esta condición solo se mantiene en tanto el equipo no sea intervenido</i>

Figura 54. Etiqueta para equipos descontaminados de PCB's

Fuente: (Ministerio de Salud, 2018).

ANEXO 08: LINEAMIENTOS PARA EL PLAN DE GESTIÓN DE LOS PCB'S

1. OBJETIVO

- Prevenir los riesgos en la salud de los trabajadores a causa del contacto con bifenilos policlorados en el área de trabajo.
- Prevenir impactos al ambiente debido a descargas voluntarias o involuntarias.
- Cumplir con los lineamientos legales nacionales e internacionales respecto a los bifenilos policlorados.

2. ALCANCE

El presente plan de gestión, tiene el alcance para toda aquella empresa propietaria de equipos con PCB's o transformadores eléctricos antiguos.

3. DEFINICIONES

Considerar los principales términos que crea conveniente para la llegada al público interesado.

4. DOCUMENTOS A CONSULTAR

- Resolución Ministerial N°683-2019/MINSA “Disponen la publicación del proyecto de Reglamento Técnico para la Gestión Sanitaria y Ambiental de los Bifenilos policlorados, en el portal institucional del Ministerio.
- Guía para el Manejo ambientalmente racional de existencia de residuos de Bifenilos policlorados (PCB) – MINSA 2017.
- Convenio de Estocolmo.
- Protocolo de Basilea.

5. RESPONSABILIDADES

En esta sección considerar los principales responsables, de acuerdo al orden jerárquico:

Gerente de la Empresa

Es responsable de aprobar los recursos necesarios para el cumplimiento del plan de gestión de los bifenilos policlorados.

Jefes de Área o sección

Es responsable de gestionar presupuesto para el cumplimiento del plan de gestión de los bifenilos policlorados.

Jefe de Seguridad y Salud Ocupacional

Responsable de la identificación de las actividades que se encuentren relacionadas con los bifenilos policlorados y participación en la elaboración del Plan de gestión de PCB's, para prevenir riesgos de salud a los trabajadores.

Jefe de Asuntos Ambientales

Responsable de la identificación de las actividades que se encuentren relacionadas con los bifenilos policlorados y participación en la elaboración del Plan de gestión de PCB's, para prevenir impactos al ambiente.

Todo personal

Asistir a todas las capacitaciones, respecto al manejo de los PCB's

6. DESCRIPCIÓN**6.1 Conformación del grupo de trabajo**

Esta parte es el inicio de la gestión del manejo de los PCB's, en donde se debe de designar responsabilidades para el cumplimiento del plan de trabajo, debe estar incluido el área de mantenimiento eléctrico, responsables del área de seguridad y asuntos ambientales.

6.2 Elaboración del diagnóstico

Para realizar el diagnóstico es importante seguir la siguiente secuencia:

a) Identificación de todas las fuentes posibles de los PCB's

Los PCB's en su mayoría se encuentra en los aceites dieléctricos de los transformadores antiguos, en esta parte el área de mantenimiento eléctrico debe

de facilitar la lista de ubicación de todos los transformadores eléctricos, si es minería se debe de tener en cuenta también aquellos equipos ubicados en interior mina como superficie.

Luego realizar una base de datos, considerando los siguientes datos necesarios: Ubicación, serie, año de fabricación, cantidad, tipo de aceite, potencia, procedencia, etc.

b) Realizar monitoreo de aceite de los transformadores: Una vez identificado los transformadores, considerar la cantidad de equipos, que estarán considerados en la toma de muestras, debido al acuerdo del grupo de trabajo. Para el monitoreo se debe de contar con los siguientes materiales: Frascos de 25 ml de preferencia color ámbar, etiquetas, marcadores, codificar y registrar en el formato del Anexo I y realizar el procedimiento de la toma de muestra de acuerdo al Anexo II.

c) Realizar el descarte de equipos

Obtenido las muestras de los aceites de los transformadores, se debe de hacer el descarte mediante alguna técnica, de las cuales una más rápida y cómoda son los kits de detección de PCB's Clor-N-Oil 50, considerado como un análisis cualitativo, que mediante el color definirá si la muestra presenta PCB's mayor a 50 ppm o la muestra no contiene PCB's. Siguiendo el procedimiento de acuerdo al Anexo III.

Esta parte es importante ya que depende de los resultados, para considerar un tipo de tratamiento para aquellos equipos que presenten contenido de PCB's. En el caso de NO ser detectado ningún equipo con presencia de PCB, la empresa puede declarar que no cuenta con PCB's. Pero en el caso de que se detecte PCB's, la empresa deberá determinar un tipo de tratamiento para la descontaminación de los PCB's, la cuál será considerada en el Plan de gestión.

6.3 Manejo para equipo con presencia de bifenilos policlorados

Una vez identificado aquellos equipos con presencia de PCB's, se debe de hacer un manejo responsable para evitar riesgos de contacto a los trabajadores y al ambiente, realizando estas principales acciones, tomando en consideración las disposiciones del

Protocolo de Estocolmo, identificar, etiquetar y retirar de uso todo equipo que contenga PCB's:

a) Implementación de un área para su correcto almacenamiento disposición temporal de transformadores con bifenilos policlorados

El área debe de encontrarse en un lugar restringido, impermeabilizado, ventilado y seguro, a una distancia lejana de las operaciones, para evitar el ingreso de personal no autorizado, debe de contar con sistemas de seguridad, como: Extintores, sensores de humo, señalización y tener personal designado para su control.

b) Implementación de etiquetado de existencia y residuos con PCB's

Una vez implementado el área para su almacenamiento de aquellos transformadores con PCB's mayor a 50 ppm, estos deben ser señalados, portando una etiqueta donde advierta que ese equipo cuenta con presencia de PCB's, según el Anexo XII.

c) Declaración de equipos con PCB

En el caso para minería, se debe de hacer la declaración de PCB's, mediante el portal virtual del extranet del Ministerio de Energía y minas, al cumplimiento del DS-014-2014-EM y elaborar el Plan de gestión para el manejo de los PCB's, el cual debe ser aprobado mediante un instrumento de gestión ambiental.

6.4 Prevención de riesgos en seguridad y salud ocupacional de los trabajadores

En el Reglamento de seguridad para minería según el DS-024-2017-EM y su modificatoria según el DS-023-2018-EM, no se ha considerado como peligro a los bifenilos policlorados, en las actividades eléctricas para atender el mantenimiento de los transformadores eléctricos, siendo no complicado realizar el trabajo de prevención de riesgos a los trabajadores, considerándose lo siguiente.

- a) Para evitar que los trabajadores con el tiempo lleguen a obtener riesgos de salud u obtener una enfermedad profesional, debido al contacto de los aceites con PCB's, es importante primero la identificación de los Peligros y evaluación de riesgos, para aplicar los controles necesarios, esto se puede realizar con el uso del IPER Continuo, aplicándose principalmente en el área de mantenimiento

eléctrico, para los trabajadores que realizan atención a los transformadores (ver Tabla 26).

Tabla 26. Modelo de IPER Continuo

TAREA	Atención o mantenimiento de transformadores	
LUGAR	Equipo donde se ubique	
PELIGRO	RIESGO	CONTROLES
Aceites con PCB's	Contacto con aceites con PCB's, durante la actividad de mantenimiento.	<ul style="list-style-type: none"> - Capacitaciones en concepto y manejo de PCB's. - Señalizar los equipos con PCB's (etiquetarlos). - Almacenamiento adecuado y restringido. - Sacar de operación equipos con PCB's. - Hacer uso de todos los EPPs. - Implementar hojas de datos de seguridad.
Equipos con aceites con PCB's	Contacto con aceites con PCB's, durante el uso de equipos.	<ul style="list-style-type: none"> - Retirar de operación equipos con PCB's. - Monitoreo de aceites de los equipos. - Realizar descartes para su identificación. - Implementación de hojas de datos de seguridad. - Hacer uso de los EPPs. - Capacitación a todo el personal del área.

Fuente: Elaboración propia.

- b) Para determinar si existe personal se encuentra con concentraciones de PCB's, se puede realizar un examen de sangre, para saber la concentración de PCBs, presentes en su organismo, en el caso de haber tenido contacto con los PCB's o permanecido por mucho tiempo expuesto.
- c) Realizar capacitaciones frecuentes a todo personal, en el manejo de los PCB's, para evitar riesgos de contacto.

- d) Mantener los equipos señalizados y dispuesto en un lugar adecuado, restringido, con todos los sistemas de seguridad: extintores, sensores de humo, botiquín, lava ojos, EPPs, etc.

6.5 Prevención de riesgos al medio ambiente

- a) Para prevenir los riesgos al ambiente, también es importante la Identificación de los Aspectos Ambientales Significativos (IAAS), identificar las fuentes donde se encuentran los PCB's, evaluar el impacto y establecer controles (Ver Tabla 27):

Tabla 27. Modelo de formato de IAAS

TAREA	Atención o mantenimiento de transformadores	
LUGAR	Equipo donde se ubique	
ASPECTO	IMPACTO	CONTROLES
Aceites con PCB's	Contaminación del suelo Contaminación del agua Afectación a la flora y fauna	<ul style="list-style-type: none"> - Capacitaciones. - Monitores ambientales. - Control en las fuentes. - Disposición correcta de los residuos. - Remediar los sitios afectados. - Implementación de áreas temporales con todas las condiciones para evitar derrames accidentales (trampas de aceites, canales, kits antiderrames, etc). - Sancionar a los responsables. - Descontaminación de los PCB's.

Fuente: Elaboración propia.

- b) La identificación de los PCB's, se podría realizar en la matriz de aspectos e impactos ambientales de su sistema de gestión ambiental de la empresa, para implementar sus controles.

6.6 Tratamiento por declorinación de PCB's

El tratamiento de los PCB's, debe de ser aprobado mediante un instrumento de gestión ambiental. Para iniciar el tratamiento es importante realizar una cotización económica para el tratamiento, esto se considerará de acuerdo a la cantidad de aceite

por descontaminar, en relación con alguna empresa que realice el tratamiento por decoloración, hoy en día ya existen empresas que prestan este servicio en el Perú. Entre las más reconocidas se encuentra la empresa KIOSHI PERÚ SAC y la empresa KANAY SECHÉ GROUP.

a) Lugar adecuado para el tratamiento de los PCB's

El tratamiento se puede llevar a cabo en el mismo lugar de la empresa, considerando un lugar adecuado, que presente un área amplio, alejado de las operaciones, con sistemas de canales de captación y trampa de aceite, que este ventilado e iluminado, cuente con sistemas de seguridad como son: extintores, sensores de humo, botiquín, lava ojos y señalización.

b) Traslado de equipos para el tratamiento de los PCB's

Una vez aprobado la cotización y obtenido la aprobación del instrumento de gestión ambiental, se debe de coordinar el traslado de equipos para el tratamiento por decoloración de los PCB's, con la empresa que prestara el servicio. Considerando medidas de seguridad en el traslado desde el lugar de origen hacia el centro donde se llevará a cabo el tratamiento por Decoloración de los PCB's. también se debe de contar con el apoyo de equipos de grúa mayor de 3 TN.

c) Traslado de equipos de PCB's

Tomar en consideración todas las medidas de seguridad para el traslado de aquellos equipos con PCB's, evitando accidentes de derrames, colocar adecuadamente los equipos para facilitar su tratamiento, es importante hacer el uso de una grúa mayor a 1 TN.

d) Tratamiento de los aceites de los transformadores

El proceso de decoloración, se realiza mediante un conjunto de equipos especiales, como son los siguientes:

Reactor.- Equipo donde se realiza todo el proceso de decoloración, es un equipo de capacidad de 1 500 Litros, el cual se llena del aceite con PCB, este equipo calienta el aceite hasta una temperatura de 80°C, luego pasa por un vaso donde se encuentra el metal alcalino "sodio metálico", en donde reacciona con el aceite

caliente, generando reacciones de eliminación y sustitución del halógeno presente en los aceites que es el Cloro, convirtiéndose en sales inorgánicas como el “Cloruro de sodio”, que es una sustancia no nociva para la salud de las personas y el medio ambiente.

e) Proceso de Regeneración de los aceites

Después de realizar el tratamiento de los aceites, se debe de realizar el proceso de regeneración el cual consta de retirar las sales inorgánicas del aceite y mantener sus propiedades aislantes, para esto pasa el aceite por los equipos de filtración y secado, para obtener un aceite libre de PCB's que podría servir para seguir haciendo uso en los transformadores.

f) Residuos generados

Los residuos generados en el proceso de declorinación, no contienen PCB's, se puede hacer su disposición final, mediante una Empresa Operadora de Residuos Sólidos y contar con sus manifiestos de disposición.

g) Laboratorio acreditado

Para la realización de los análisis por cromatografía de gases, se debe de contar con el laboratorio con acreditación por el INACAL.

6.5 Cronograma de trabajo

Tabla 28. Modelo de cronograma de trabajo

N°	ACTIVIDADES	TIEMPO
1	Identificación de las fuentes	1 mes
2	Toma de muestras de los aceites de los transformadores	1 semana
3	Descarte de equipos con el Kit de detección de PCB's	1 semana
4	Cotización para tratamiento por declorinación	2 meses
5	Aprobación del presupuesto	1 mes
6	Adecuación del lugar	2 meses
7	Traslado de equipos para el tratamiento	1 mes
8	Traslado de transformadores al lugar de tratamiento.	1 mes

9	Tratamiento de los aceites, dependiendo de la cantidad.	2 a 3 meses
10	Toma de muestra y Resultados finales	1 mes

Fuente:

Elaboración

propia.

ANEXO 09: MATRIZ DE CONSISTENCIA

TÍTULO: “TRATAMIENTO POR DECLORINACIÓN IN SITU DE BIFENILOS POLICLORADOS (PCB’S), PARA CONTROL DE RIESGOS DE SALUD DE LOS TRABAJADORES Y EL MEDIO AMBIENTE EN EL SECTOR MINERO DEL DEPARTAMENTO DE PASCO”

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	INDICADORES
<p>Formulación del Problema</p> <p>¿De qué manera el tratamiento por declorinación, para aceites dieléctricos con contenido mayor a 50 ppm de PCB’s, intervendrá en la prevención de riesgos de salud de los trabajadores y al medio ambiente?</p> <p>Problemas específicos:</p> <p>1. ¿Cómo se podría determinar de manera previa, la concentración de PCB’s mayor a 50 ppm, en los aceites dieléctricos y poder descartar aquellos transformadores con aceites dieléctricos sin PCB’s?</p>	<p>Objetivo General</p> <p>Determinar mediante el tratamiento or declorinación, la reducción de contenido de PCB’s de los aceites dieléctricos, hasta por debajo de 50 ppm, para evitar riesgos de salud de los trabajadores y al medio ambiente.</p> <p>Objetivos específicos:</p> <p>1. Determinar mediante el detector de PCB’s llamado Clor-N-Oil 50, aquellos aceites dieléctricos con más de 50 ppm y descartar de aquellos transformadores con aceites dieléctricos sin PCB’s.</p>	<p>Hipótesis General</p> <p>El tratamiento por declorinación reduce el contenido de PCB’s de los aceites dieléctricos, eliminando los átomos de cloro presentes en las moléculas de PCB’s, hasta por debajo del límite máximo permisible de 50 ppm.</p> <p>Hipótesis Específicas:</p> <p>1. Con el uso de los Kit Colorimétrico para detección de PCB’s Clor-N-Oil 50, si se puede realizar el descarte de aquellos equipos no contaminados con PCB’s, de acuerdo al color del resultado de las pruebas.</p>	<p>Variables Dependiente</p> <ul style="list-style-type: none"> - Riesgo de Salud (Alteración del sistema endocrino, inmunológico, nervioso, reproductivo y cancerígeno). - Riesgo al Medio ambiente (No biodegradable, afectación a la cadena trófica). 	<ul style="list-style-type: none"> - Inventario inicial de todos los transformadores operativos e inoperativos. - Pruebas con el Kits Clor-N-Oil, para detectar equipos con PCB’s mayor a 50 ppm. - Toma de muestras de aceites de los falsos positivos, con PCB’s mayor a 50 ppm. - Resultado del análisis cromatográfico, de los equipos de falsos positivos.

<p>2. ¿Cómo se podría obtener los resultados exactos y cuánticos, de la concentración de PCB's en los aceites dieléctricos de los transformadores, para verificar los resultados positivos obtenidos con los detectores de PCB's Clor-N-Oil 50?</p> <p>3. ¿Existe relación entre aquellos transformadores con concentración de PCB's y el año de su fabricación antes de 1979?</p>	<p>2. Demostrar que el análisis por cromatografía de gases, muestra resultados exactos y cuánticos y verifica los resultados que salieron positivos por el uso de los detectores de PCB's Clor-N-Oil 50.</p> <p>3. Demostrar que existe relación entre aquellos transformadores identificados con PCB's, y el año de su fabricación antes de 1979.</p>	<p>2. Los resultados por el análisis por cromatografía de gases, si descartó equipos no contaminados con PCB's, los cuales fueron resultados supuestos y llamados "falsos positivos" por el uso del kit colorimétrico Clor-N -Oil 50.</p> <p>3. Existe relación entre los transformadores con PCB's mayor a 50 ppm y el año de fabricación, considerándose los transformadores más antiguos, según el registro de cada placa.</p>	<p>Variables Independientes</p> <ul style="list-style-type: none"> - Contacto, inhalación y/o digestión por aceites con Bifenilos Policlorados mayor a 50 ppm. - Descarga directa al medio ambiente de aceites con Bifenilos Policlorados mayor a 50 ppm. 	<ul style="list-style-type: none"> - Toma de Muestras de aceites, tratados por el proceso de Declorinación de PCB's. - Resultados del análisis cromatográfico de muestras de aceites, después del tratamiento por declorinación de PCB's. - Año de fabricación de los transformadores.
--	--	---	---	---

Fuente: Elaboración propia